Ubicazione del Progetto:
*Project Location:*

# 13 03 - DATA 4 ITALY - CORNAREDO/SETTIMO M.SE

Supervisore delegato del committente:
*Project management design & building:*

GIS.IMO S.r.l.
centro direzionale quattrotorri
06132 PERUGIA
tel.: +39 075 517 29 83 fax: +39 075 518 12 88

Assistente del committente:
*Owner technical assistance:*

Progetto architettonico:
*Architectural project:*

GARRETTI ASSOCIATI S.r.l.
via Trieste, 9 - 20146 MILANO
tel.: +39 02 430 6931 fax: +39 02 480 170 51
www.garrettiassociati.it

Opere edili e prefabbricati:
*Civil and Precast works:*

GARRETTI ASSOCIATI S.r.l.
via Trieste, 9 - 20146 MILANO
tel.: +39 02 430 6931 fax: +39 02 480 170 51
www.garrettiassociati.it

Impianti meccanici:
*Mechanical services:*

GENERALE PREFABBRICATI S.p.a.
centro direzionale quattrotorri
Ellera Scalo - 06132 PERUGIA
tel.: +39 075 51 871 fax: +39 075 51 71 145
www.generaleprefabbricatispa.com

Impianti elettrici e speciali:
*Electrical and Extra Low Voltage Services:*

OMEGA CONCEPT IMPIANTI E SISTEMI S.p.A.
Strada 6, snc - Palazzo A11 - 20057 ASSAGO
tel.: +39 02 8180951
e-mail: omega.direzione.axima@equans.com

ENGIE SERVIZI S.p.A.
via G. Ribotta 31
00144 Roma

VERTIV
Via Leonardo Da Vinci, 16-18
35 028 Piove di Sacco (PD)

SCHNEIDER ELECTRIC S.p.A.
Via Circonvallazione Est, 1 - 24040 STEZZANO (BG)
tel.: +39 0354151111 fax: +39 0354153200
www.schneider-electric.com

ENERIA
Rue de Longpont - BP 10202 - 91311 MONTLHERY Cedex - FRANCE
tel.: +33 (0) 169802100 fax: +33 (0) 169802150
www.eneria.fr

Progettazione antincendio:
*Fire prevention design:*

APILOG
3 Rue Galvani, 91300 Massy, FRANCE

STUDIO TECNICO ZACCARELLI S.r.l.
via Ludovico il Moro, 17 - 20143 MILANO
tel.: +39 02 891 200 81 fax: +39 02 813 962 8
www.studiozaccarelli.it

| Rev | Date | Descrizione / *Description* | Dis. / *Dftmn* |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Oggetto: / *Drawing Title:*

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA

GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL REPORT

Elaborato a cura di:
*Drawn by:*

GENERALE PREFABBRICATI
building for a better living

GENERALE PREFABBRICATI S.p.a.
centro direzionale quattrotorri
Ellera Scalo - 06132 PERUGIA
tel.: +39 075 51 871 fax: +39 075 51 71 145
www.generaleprefabbricatispa.com

Proprietà:
*Owner:*

Data4

DATA 4 ITALY S.P.A.
Piazza Eleonora Duse, 2
20122 MILANO

Progetto:
*Project:*

DATA CENTER

# DC08.1

N°Commessa: / Internal nr.

Scala: / *Scale:*

Tavola n°. / *Document n°.*

| edificio / building | originatore / originator | disciplina / discipline | lotto di appalto / lot | tipo / type | piano / floor | numero / number |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |

Generale Prefabbricati S.p.A.
Progettista delle Strutture
Dott. Ing. Andrea Bagiana
Ordine degli Ingegneri di Perugia n. A4122

**STUDIO TECNICO GEOM. UGO CELOTTI s.r.l.**
CAPITALE SOCIALE EURO 100.000,00 I.V.
VIA MINCIO, 22 – C.A.P. 20139 **M I L A N O** TEL. 02.5393977 – FAX 02.5392262
e-mail: studiocelotti@studiocelotti.it

SONDAGGI GEOGNOSTICI GEOTECNICI AMBIENTALI GEOARCHEOLOGICI – PROVE SU TERRENI DI FONDAZIONE INDAGINI E RICERCHE GEOLOGICHE E IDROLOGICHE - PERFORAZIONI PROFONDE PER GEOTERMIA PER DISPERSORI PER STRUMENTAZIONI - PROSPEZIONI GEOFISICHE GEOELETTRICHE - RILIEVI TOPOGRAFICI
C.C.I.A.A. REG. DELLE IMPRESE DI MILANO – COD.FISC.-PART.IVA 05092310969 – SOA 3405AL/57/01

Milano, settembre 2023

Generale Prefabbricati S.P.A. - Centro Direzionale Quattrotorri Ellera Stazione Perugia

Prot. 7412/B

# DATA 4 ITALY S.r.l.

# REALIZZAZIONE DI UN EDIFICIO PLURIPIANO A SERVIZIO DEL DATA CENTER DC08.2 / DC08.1

## COMUNE DI SETTIMO MILANESE(MI) 20019
## VIA REISS ROMOLI SNC

## RELAZIONE GEOLOGICA (R1+R3)

## Redatta ai sensi

## D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011
## D.M. 14 gennaio 2008 (N.T.C. 2008)
## D.M. 17 gennaio 2018 (Aggiornamento delle N.T.C.)

Dott. Geol. Luigi Maurizio Paternò

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA
LUIGI MAURIZIO PATERNÒ
geologo specialista
Albo n. 1432 AP
sezione A

| REVISIONE | DATA | PROTOCOLLO | REDATTO | CONTROLLATO | AUTORIZZATO |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.1 | 14/09/2023 | 7412/B | LMP | GCC | GCC/LMP |

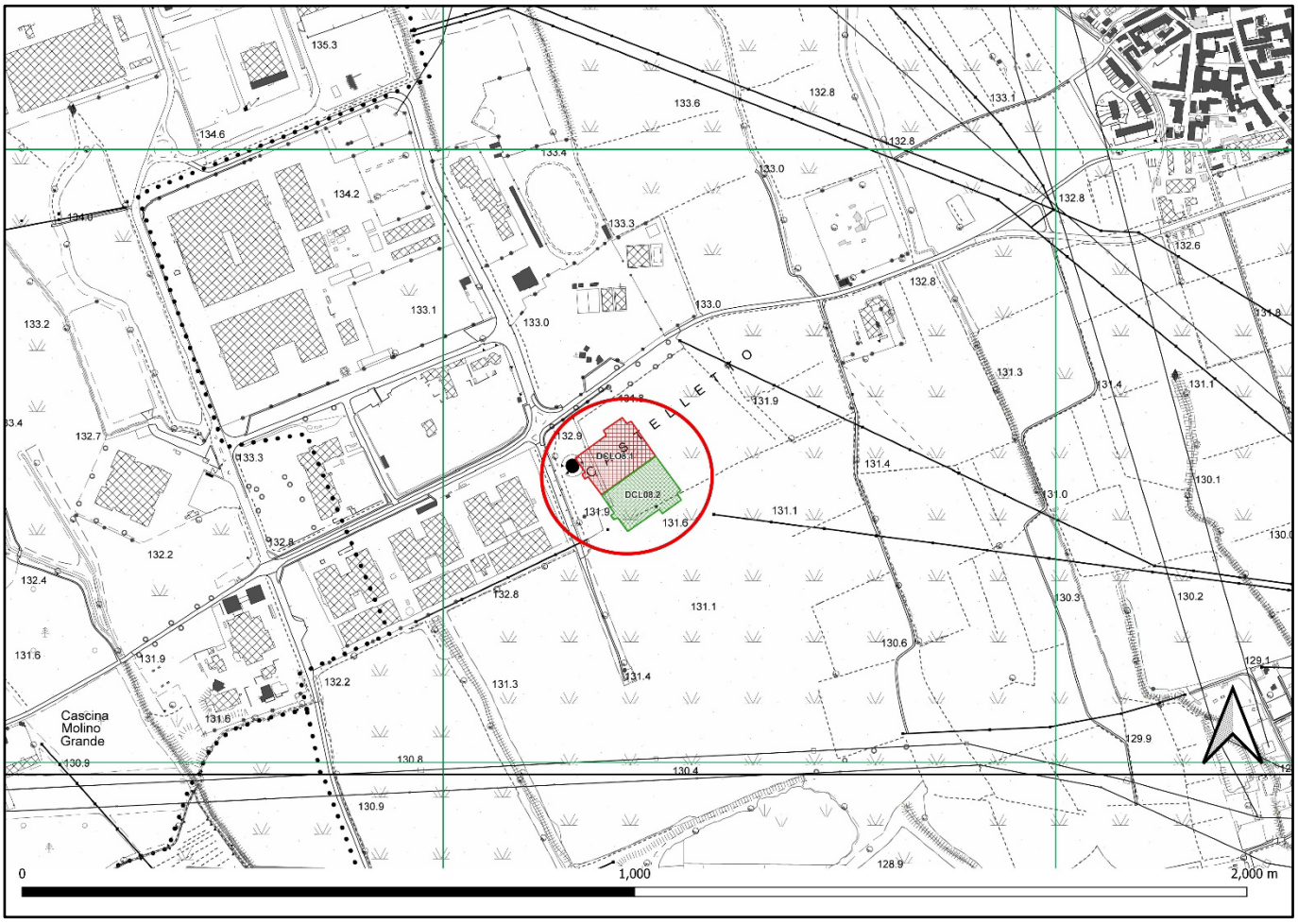
P.P.V.

Generale Prefabbricati S.p.A.
Progettista delle Strutture
Dott. Ing. Andrea Bagiana
Ordine degli Ingegneri di Perugia n. A4122

**SOMMARIO**

**1.0 PREMESSA E PROGETTO EDILIZIO 3**
**2.0 VINCOLI E CLASSIFICAZIONE SISMICA 4**
2.1 VINCOLI URBANISTICI E IDROGEOLOGICI 4
2.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA 5
**3.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO 6**
3.1 UBICAZIONE GEOGRAFICA ED INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO 6
3.2 INQUADRAMENTO GEOLITOLOGICO ED IDROGEOLOGICO 6
**4.0 ANALISI DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA 7**
4.1 PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA 7
4.2 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE - ANALISI SISMICA DI II LIVELLO 7
4.2.1 SCENARI DI RISCHIO SISMICO -LIQUEFAZIONE 8
4.2.2 DATI IN INGRESSO 8
4.2.3 ELABORAZIONE RISULTATI 9
**5.0 MODELLO CONCETTUALE E GEOLOGICO-TECNICO 10**
5.1 INDAGINI DIRETTE IN SITO E MODELLO CONCETTUALE 10
5.2 MODELLO GEOLOGICO TECNICO E PARAMETRI CARATTERISTICI 11
**6.0 CONCLUSIONI 12**

# 1.0 PREMESSA E PROGETTO EDILIZIO




Il presente documento ha lo scopo d'illustrare i caratteri geologici di un'area ubicata in Comune di Settimo Milanese (MI) 20019 VIA REISS ROMOLI SNC L'identificazione catastale è la seguente: F. 16, mappali 1 e 94 del Catasto Edilizio del Comune di Settimo Milanese.

In base alle informazioni fornite dalla Committente l'intervento è così descrivibile:

*Realizzazione di un Edificio Pluripiano a servizio di un "Data Center DC08.2" ubicato nel Comune di Settimo Milanese – MI – in Via Reiss Romoli n° 33. Il fabbricato ha 1 piano a livello piano terra nr. 2 piani fuori terra con una superfice totale è di 15.399 mq di cui in a P.T. 5.133 mq. Le dimensioni in pianta sono 86x65m circa e l'altezza massima del tamponamento è circa a 14,40 m. La quota di imposta fondazioni dal piano terra finito (+133,55 = ± 0,00) è pari a -2,14 m. La quota di imposta fondazioni dalla quota del terreno attuale (+132,40) è pari a -1,04m.*

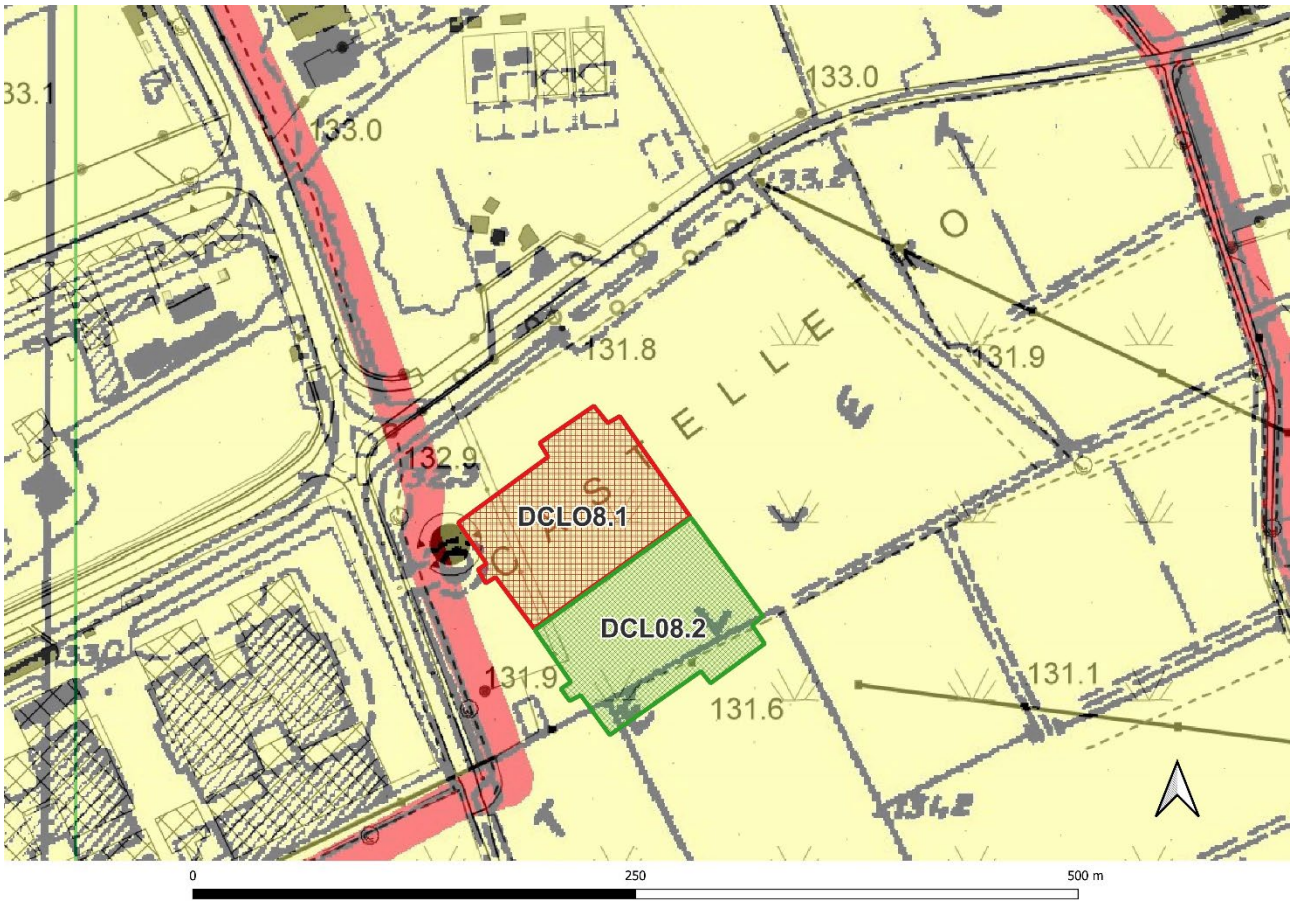
Le norme tecniche utilizzate per impostare struttura e contenuto del presente documento sono omogenee alle linee normative fissate con DECRETO MINISTERIALE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI 17 GENNAIO 2018 - AGGIORNAMENTO DELLE «**NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI**» - SUPPLEMENTO ORDINARIO ALLA G.U. N. 42 DEL 20 FEBBRAIO 2018 - SERIE GENERALE.

Legislazione locale di riferimento: D.G.R. Regione Lombardia 7374/2008, D.G.R. Regione Lombardia IX/2616 del 30 novembre 2011, D.G.R. X/2129 del 11 luglio 2014.

# 2.0 VINCOLI E CLASSIFICAZIONE SISMICA

## 2.1 VINCOLI URBANISTICI E IDROGEOLOGICI

In base all'attuale PGT Comunale l'area è indicata in piano in classe di fattibilità II.




Classe II Fattibilità con modeste limitazioni

Sotto l'aspetto geologico, le aree che rientrano in questa classe hanno morfologia pianeggiante e sono litologicamente costituite da depositi di natura sabbioso-ghiaiosa, con percentuali variabili di matrice limosa o limoso sabbiosa. Talvolta sono aree con presenza di terreni granulari/coesivi con mediocri caratteristiche geotecniche fino a 5-6 m circa di profondità; non sono invece presenti terreni con scadenti caratteristiche geotecniche o ambiti interessati da attività estrattive attive o dismesse. […] Rispetto alla pericolosità idraulica, si tratta di aree che o non sono coinvolte da fenomeni di inondazione a carico del reticolo idrografico o che sono potenzialmente inondabili per eventi eccezionali che hanno probabilità di accadimento molto bassa. Si tratta di aree nelle quali, in generale, sono ammissibili tutte le categorie di opere edificatorie. Alcune prescrizioni specifiche riguardano unicamente i vani interrati e semiinterrati.

## 2.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Il territorio comunale di Settimo Milanese ricade nel gruppo di aree individuate dalla Regione Lombardia (D.g.r. 11 luglio 2014 n. X/2129) in Zona 4 di Pericolosità Sismica di Base (**PSB**) - con pericolosità sismica molto bassa e con valori di $a_g$ < 0,05.

| ISTAT | Provincia | Comune | Zona Sismica | AgMax |
|---|---|---|---|---|
| 03015211 | MI | SETTIMO MILANESE | 4 | 0,044794 |

L'area rientra, in cartografia PGT zona Z4a di Pericolosità Sismica Locale (**PSL**).

In base al rilievo MASW[1] eseguito nell'area d'impronta dell'edificio in progetto sono presenti depositi superficiali di categoria C con $V_{s,eq}$ compresa tra 180 e 360 m/s.

L'area in parola è caratterizzata da PSB molto bassa (zona sismica 4) e scenario PSL Z4. Non è pertanto necessario, data la tipologia di edificio in progetto, procedere ad analisi sismica di II livello.

[1] Relazione MASW 7412/RM – Gennaio 2023, Studio Tecnico Geom. Ugo Celotti S.r.l.

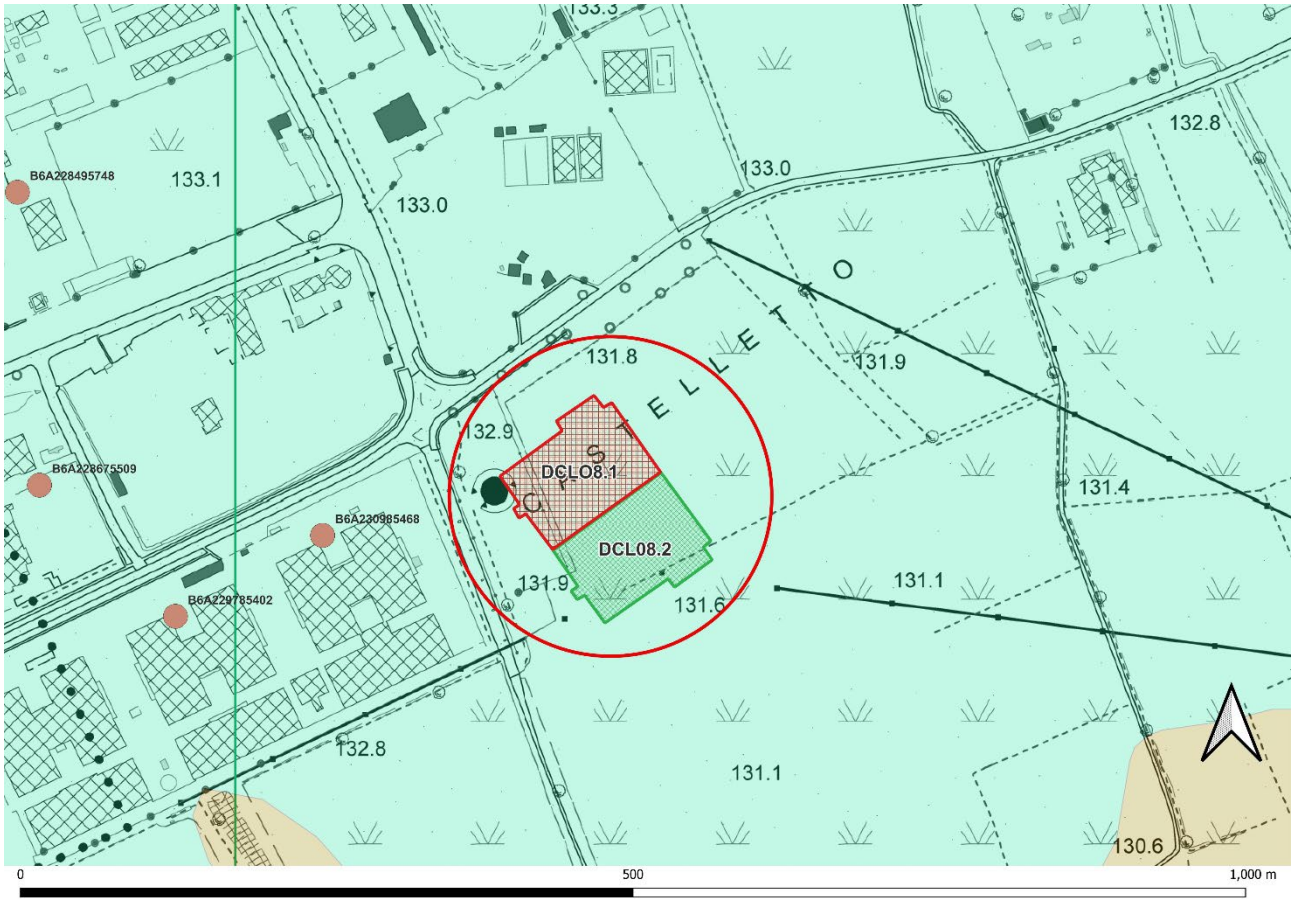
# 3.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

## 3.1 UBICAZIONE GEOGRAFICA ED INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area è cartografata nella sezione B6a2 della Carta Tecnica Regionale (CTR) della Regione Lombardia in scala 1:10.000 ed è inserita nel contesto geografico-morfologico della media pianura lombarda; presenta quota media di circa 132÷133 m s.l.m ed è fortemente antropizzata in tessuto a vocazione prevalentemente agricola.

Dal punto di vista morfologico l'area risulta sostanzialmente pianeggiante e senza elementi di rilievo.

## 3.2 INQUADRAMENTO GEOLITOLOGICO ED IDROGEOLOGICO




Dal punto di vista geologico e geolitologico l'area è caratterizzata dalla presenza di depositi ascrivibili all'Unità di Minoprio (BMI). L'Unità è composta da ghiaie a supporto clastico e di matrice, con matrice sabbiosa e sabbioso limosa; limi ghiaiosi; sabbie, sabbie limose e limi (depositi fluvioglaciali).

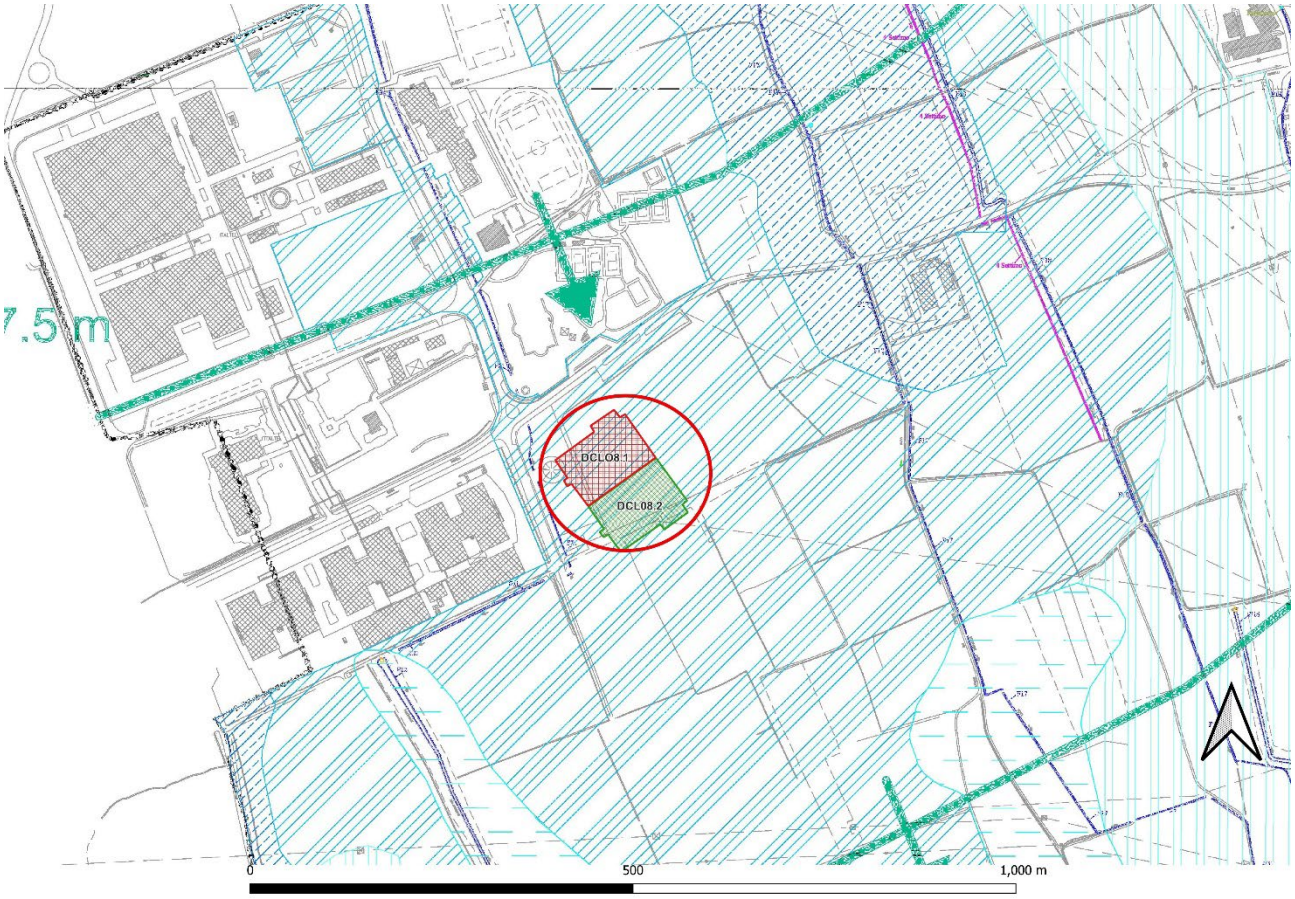
Superficie limite superiore caratterizzata da suoli con spessore medio di 1,5 m, presenza di suoli sepolti nel settore meridionale.

Dal punto di vista litologico l'unità è costituita da depositi fluvioglaciali ed in particolare da ghiaie a supporto clastico, con matrice sabbiosa e sabbioso limosa. Clasti arrotondati/subarrotondati, in prevalenza centimetrici (dimensioni più frequenti tra 1-5 cm e dimensione massima osservata 20 cm circa).

Le ghiaie, da massive a grossolanamente stratificate, costituiscono l'ossatura dei settori occidentale e orientale del territorio giungendo fino al suo limite meridionale. Nei due settori sono presenti successioni sommitali caratteristiche. In tutto il settore settentrionale sono

discontinuamente presenti sedimenti fini rubefatti a clasti sparsi, che costituiscono il riempimento di canali incisi nelle ghiaie, fluitato dai suoli delle superfici circostanti. Sono presenti, inoltre, sequenze sommitali di sedimenti fini attribuite al sintema di Cantù (subsintema di Ronchetto delle Rane).

La superficie modale, pur essendo percorsa da una fitta rete di drenaggio, oggi quasi completamente artificiale, appare estremamente livellata. Le depressioni in cui scorrono fontanili e cavi, il cui frequente andamento sinuoso e non regolare rivela un'origine naturale, sono generalmente poco o non percettibili all'osservazione diretta.




La falda è ubicata secondo PGT a ≈127,5 m s.l.m. con soggiacenza di circa 4,5÷5,5 m da piano campagna e direzione principale di deflusso sotterraneo W-NW/E-SE.

## 4.0 ANALISI DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA

L'analisi della pericolosità geologica, qui presentata in forma qualitativa, consente un sommario inquadramento del sito d'intervento e delle eventuali opere pre-esistenti , analisi delle interferenze con manufatti circostanti e scenari di rischio idrogeologico.

### 4.1 PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA

Non son presenti pendii, pertanto, sono esclusi fenomeni geomorfologici/gravitativi. L'area si presenta pianeggiante. In queste condizioni la pericolosità legata a processi di modellamento geomorfologico risulta nulla. L'area non risulta iscritta in alcuna fascia PAI di rischio rilevante quindi si può approssimare a nullo il rischio idrogeologico locale.

### 4.2 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE - ANALISI SISMICA DI II LIVELLO

L'area in parola è caratterizzata da PSB molto bassa (zona sismica 4) e scenario PSL Z4. Non è pertanto necessario, data la tipologia di edificio in progetto, procedere ad analisi sismica di II livello

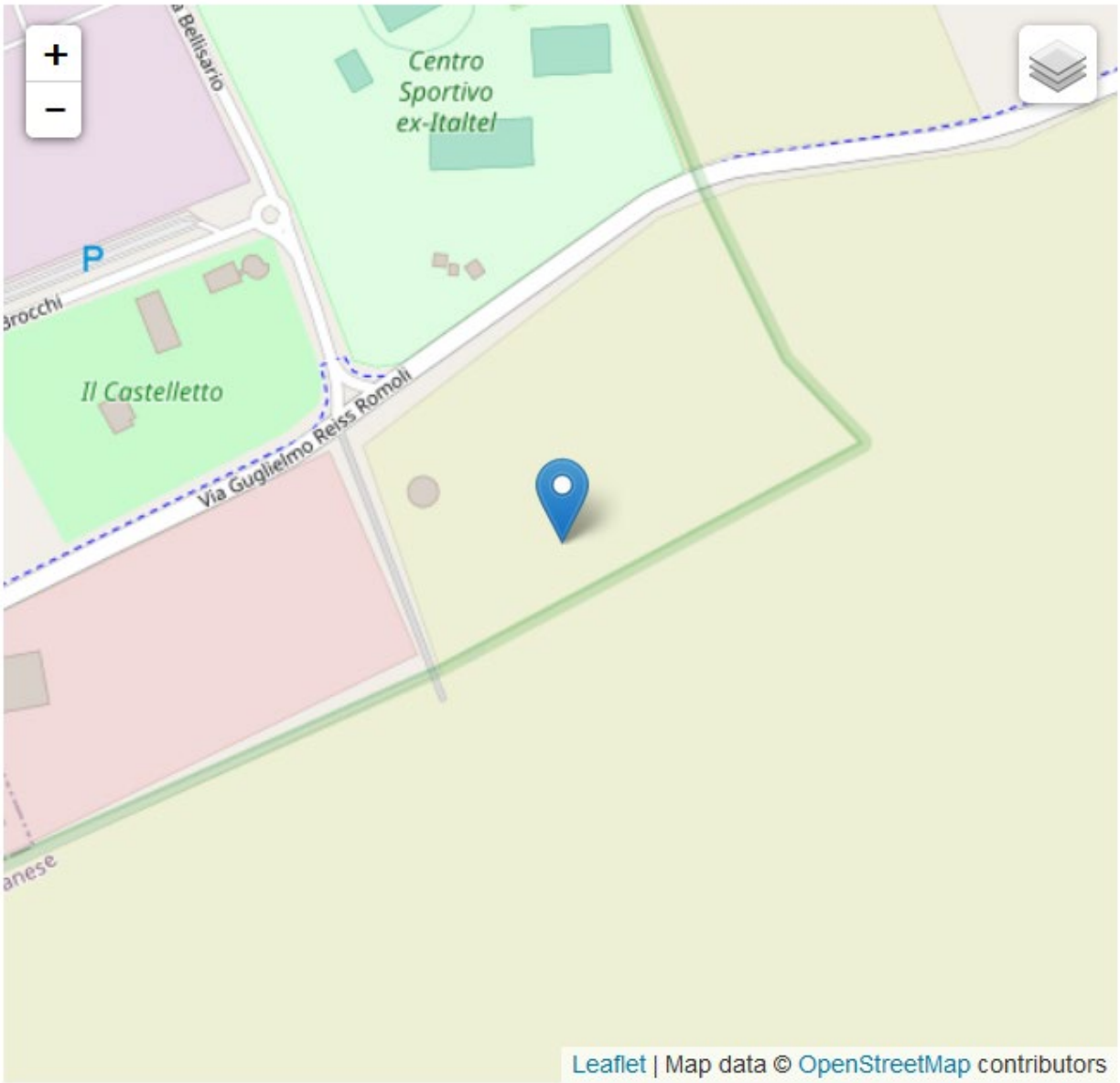
### 4.2.1 SCENARI DI RISCHIO SISMICO -LIQUEFAZIONE

Nell'ambito delle verifiche relative al rischio sismico si sono considerati i quattro scenari di stati limite: SLO, SLD, SLV e SLC cautelativamente applicati ad un terreno di categoria C.

### 4.2.2 DATI IN INGRESSO

Il punto di riferimento collegato all'area è il punto baricentrico degli edifici in progetto con le seguenti coordinate:

| | LAT [°] | LONG [°] |
|---|---|---|
| **WGS84** | 45.4725215 | 9.0425048 |
| **ED50** | 45.473457 | 9.043568 |



Si prevede, per le costruzioni in progetto, Classe d'Uso **III** corrispondente ad un coefficiente d'uso (Cu) 1.5 per una durata nominale Vn di **50** anni e, pertanto, una Vr [Vn*Cu] di 75 anni. In queste condizioni si ricavano i seguenti periodi di ritorno $T_r$ da prendere in considerazione per le elaborazioni successive:

| Stato limite | Pvr % | Tr [anni] |
|---|---|---|
| SLO | 81 | 45 |
| SLD | 63 | 75 |
| SLV | 10 | 712 |
| SLC | 5 | 1462 |

### 4.2.3 ELABORAZIONE RISULTATI

Si procede in prima istanza, data la natura litologica del terreno e la profondità della falda riportata in PGT vigente, alla definizione di eventuali scenari di liquefazione.

Per tale verifica è necessario considerare l'accelerazione massima data dall'accelerazione ricavata mediante interpolazione con i nodi della maglia sismica (vedasi precedente tabella) moltiplicata per fattori di amplificazione legati alla morfologia topografica dell'area e alla natura del deposito.

Per aree pianeggianti il fattore di amplificazione topografica ($S_t$) risulta uguale a 1

Si ricava la seguente tabella:

| STATO LIMITE | $a_{Gmax}$ [g] |
|---|---|
| SLO | 0.0308 |
| SLD | 0.0381 |
| SLV | 0.0723 |
| SLC | 0.0857 |

Le NCT 2018 dispongono che l'analisi di liquefazione può essere omessa (ridondante) quando il terreno saturo suscettibile a tale fenomeno risulti interessato da $a_{gmax} < 0,1$ g e, pertanto, per nessuno scenario di rischio risulta necessario un approfondimento sull'eventuale probabilità di liquefazione dei terreni sottofalda.

# 5.0 MODELLO CONCETTUALE E GEOLOGICO-TECNICO

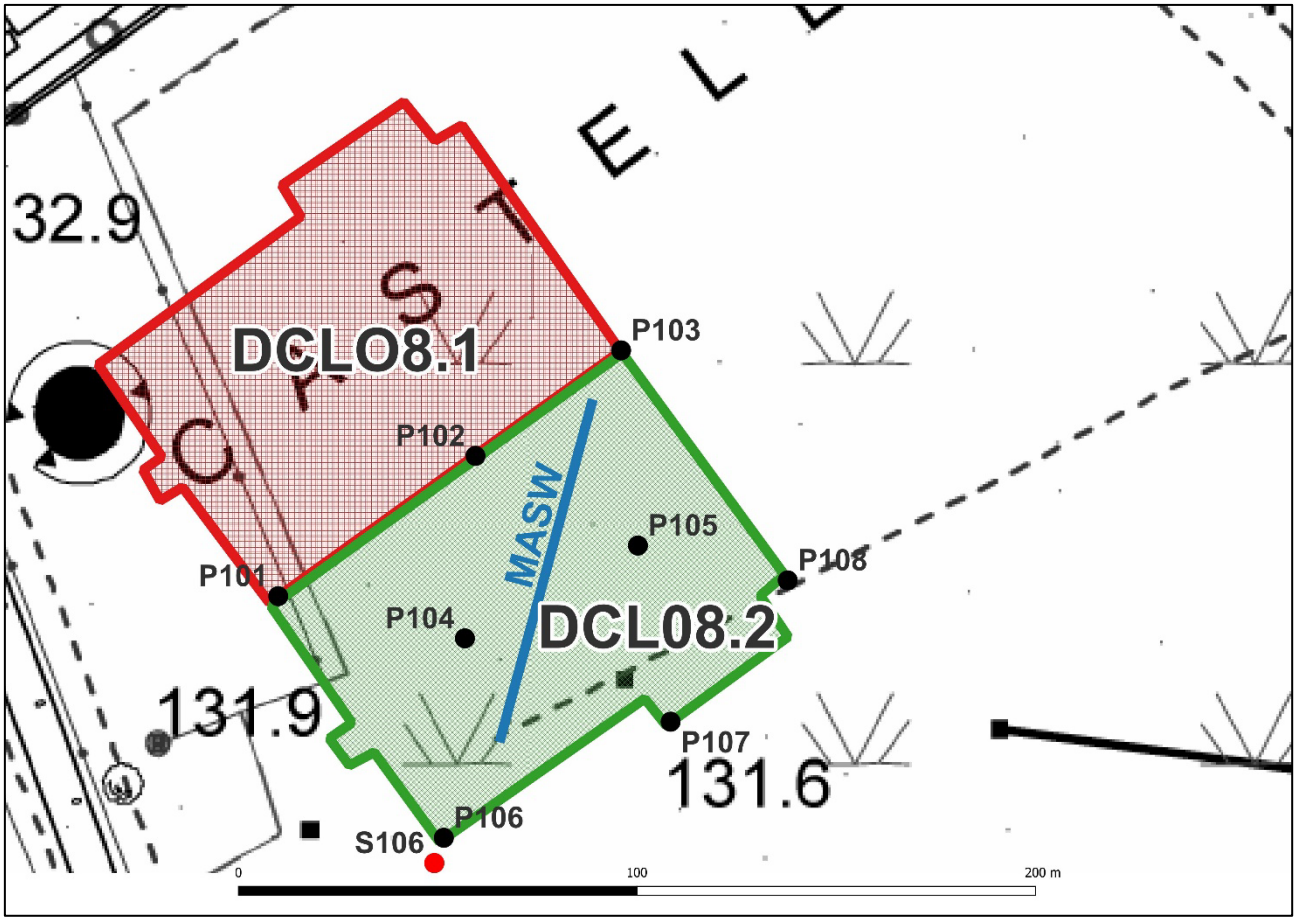
## 5.1 INDAGINI DIRETTE IN SITO E MODELLO CONCETTUALE

Nel sito in parola sono state eseguite, nel febbraio 2023[2], una serie di indagini dirette il cui scopo è la ricostruzione del modello geologico-tecnico e la determinazione dei parametri caratteristici per la realizzazione di una relazione di progettazione geologica redatta secondo normativa vigente (Art. 6.2.2 NTC 2018). Il modello concettuale adottato, tipico dell'Unità formazionale di Minoprio è basato sulla presenza, nel sottosuolo, di strati pianoparalleli e suborizzontali costituiti da sabbie (limose e ghiaiose) e ghiaie (sabbiose e limose) tipiche di ambiente fluviale braided con ridotte pendenze e con contatti eteropici.

Nella seguente tabella sono riassunte le indagini eseguite:

| TIPO | N° |
|---|---|
| Sondaggio | 1 |
| Prova penetrometrica SPT | 13 |
| Prova penetrometrica dinamica continua | 8 |
| Stendimento MASW | 1 |

Le ubicazioni delle prove e dello stendimento sono riportate nella seguente figura:




[2] Dis. 7412/1A - 20/02/2023 Studio Tecnico Geom. Ugo Celotti S.r.l.

## 5.2 MODELLO GEOLOGICO TECNICO E PARAMETRI CARATTERISTICI

In base alle prove eseguite, alle correlazioni adottate e al modello concettuale applicato è stato elaborato il modello geologico-tecnico di cui la seguente tabella sinottica presenta, numericamente e in termini di parametri geomeccanici, la sintesi operativa:

| Strato | $Q_L$ [m] | $\gamma$ [daN/cm$^3$] | $\gamma_s$ [daN/cm$^3$] | c [kPa] | $c_u$ [kPa] | $\varphi$ [gradi] | $C_{c,s}$ [/] | $C_{r,s}$ [/] | OCR [/] | $E_i$ [daN/cm$^2$] | $E_{i,ed}$ [daN/cm$^2$] | v [/] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | -5 | 0,019 | 0,021 | 0 | 0 | 25,1 | - | - | - | 368 | 496 | 0,3 |
| 3 | -15 | 0,019 | 0,021 | 0 | 0 | 27,0 | - | - | - | 600 | 810 | 0,3 |
| 4 | -18 | 0,019 | 0,021 | 0 | 150 | 26,0 | 0,11 | 0,025 | 1,5 | 203 | 275 | 0,3 |
| 5 | - | 0,019 | 0,021 | 0 | 0 | 30,0 | - | - | - | 1575 | 2126 | 0,3 |

Nella tabella si è indicato con:

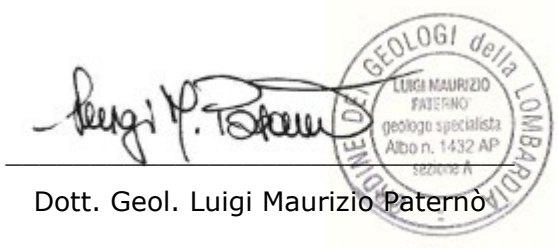
| | |
|---|---|
| $Q_L$ | la quota del letto dello strato, |
| $\gamma$ | il peso di volume fuori falda, |
| $c_u$ | la coesione totale ed efficace, |
| $D_r$ | la densità relativa, |
| $\varphi'_{calc}$ | l'angolo d'attrito operativo, |
| $C'_c$; $C'_r$ | gli indici di compressibilità, ricompressione edometrica, |
| OCR | il rapporto di sovraconsolidazione, |
| m | il gradiente del modulo di YOUNG $E_{vc}$ nella formulazione $E_{vc}$ = m $(\sigma_c/\sigma_r)^n$ $\sigma_r$ (JANBU);.$\sigma_c$; $\sigma_r$ rispettivamente la pressione di contenimento efficace e la pressione di riferimento, quest'ultima pari a 100 per E $\sigma_c$ in kPa, |
| $\nu$ | il rapporto di POISSON. |

## 6.0 CONCLUSIONI

A seguito della consultazione dei dati tecnici bibliografici e delle indagini dirette in sito risulta che:

1) dal punto di vista geologico e geolitologico l'area è caratterizzata dalla presenza di depositi ascrivibili all'Unità di Minoprio (BMI). L'Unità è composta da ghiaie a supporto clastico e di matrice, con matrice sabbiosa e sabbioso limosa; limi ghiaiosi; sabbie, sabbie limose e limi (depositi fluvioglaciali). Sono pertanto presenti in sito terreni con permeabilità da media a medio-alta.
2) I materiali di sottostrato non presentano caratteristiche sismicamente rilevanti e la morfologia dell'area non è tale da innescare fenomeni di amplificazione sismica. Non necessita condurre verifica sismica per la liquefazione.
3) Sono presenti in sito materiali di fondazione con componente granulare (sabbie e ghiaie) prevalenti e generalmente normalconsolidate, con capacità portanti da medie a buone/ottime.

Per quanto finora visto l'opera è compatibile con il quadro generale geologico, litologico, sismico e idraulico delineato in fase di PGT senza interventi correttivi preliminari o contestuali e senza particolari accorgimenti progettuali.




Dott. Geol. Luigi Maurizio Paternò

# STUDIO TECNICO
# Geom. UGO CELOTTI S.R.L.

VIA MINCIO 22 - CAP 20139 MILANO - TEL. 025393977 r.a. - 025392262 FAX
e-mail: studiocelotti@studiocelotti.it


INDAGINI GEOGNOSTICHE - PROVE SU TERRENI DI FONDAZIONE
RICERCHE IDROLOGICHE AMBIENTALI - STRUMENTAZIONI GEOTECNICHE
PERFORAZIONI PROFONDE PER GEOTERMIA PER DISPERSORI PER STRUMENTAZIONI
RILIEVI TOPOGRAFICI - PROSPEZIONI GEOFISICHE E GEOELETTRICHE

GENERALE PREFABBRICATI S.p.A. - Centro Direzionale Quattrotorri
Ellera Stazione - PERUGIA

Indagini geognostiche e geotecniche eseguite nel terreno di fondazione di un edificio pluripiano a servizio del Data Center DC08.2 di prossima realizzazione in comune di Settimo Milanese (Milano) – Via Reiss Romoli, 33.

SONDAGGIO GEOGNOSTICO E GEOTECNICO N. S106
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE NN. P101 ÷ P108

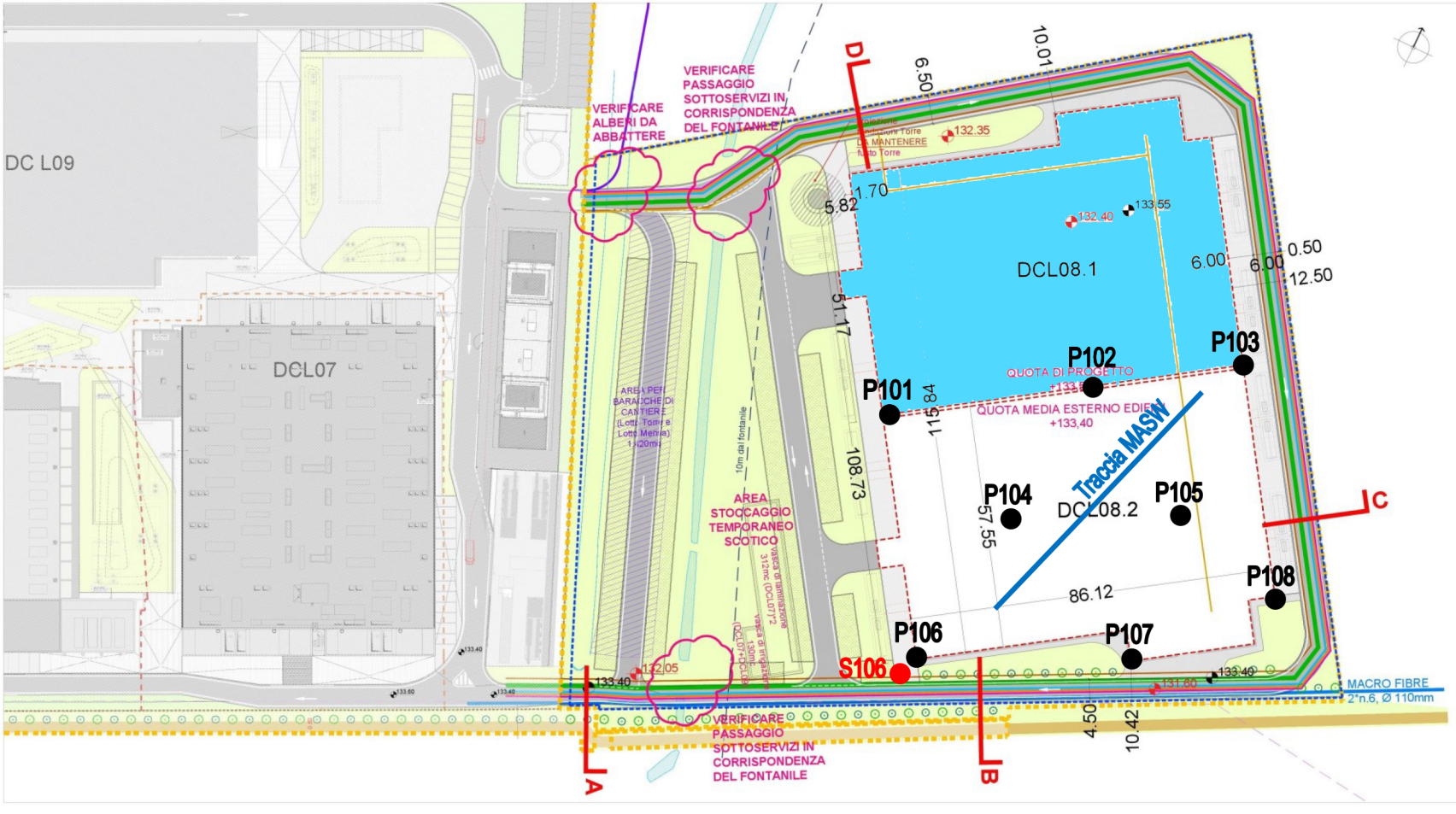
Disegno n. 7412/1A Data: 20 – 02 – 2023

N.B. – Lo zero di riferimento delle profondità coincide con il piano della soglia dell'attuale ingresso carrabile ai capannoni esistenti che corrisponde a quota m. +132.93 s.l.m. calcolata da m. +133.30 indicata dalla Committente (v. dis.).

● **Sondaggio geognostico e geotecnico**

● **Prove penetrometriche dinamiche**

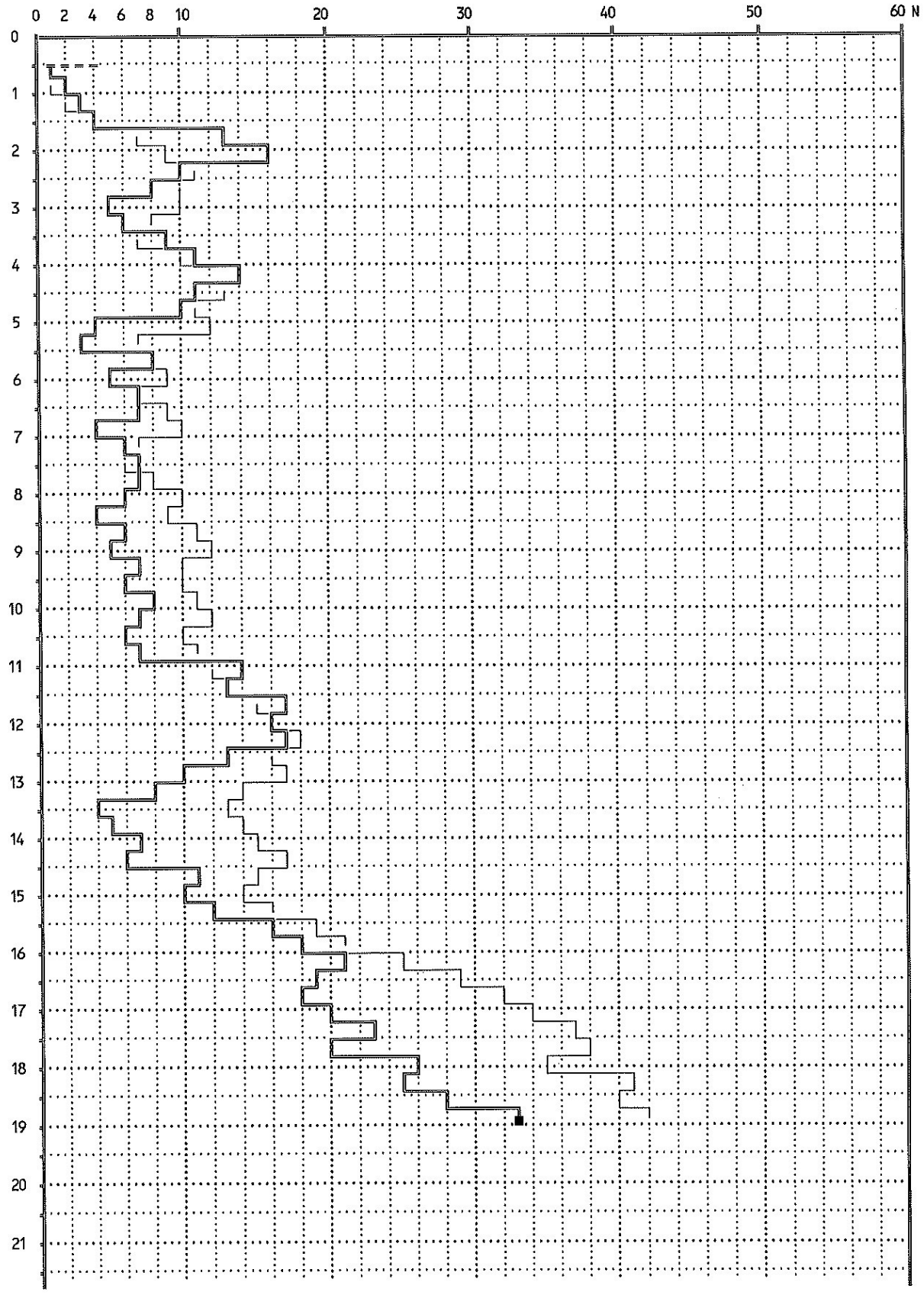
## PLANIMETRIA



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N°:P101** **DATA: 10-1-2023**

Disegno n°:7412101H Località : SETTIMO MILANESE

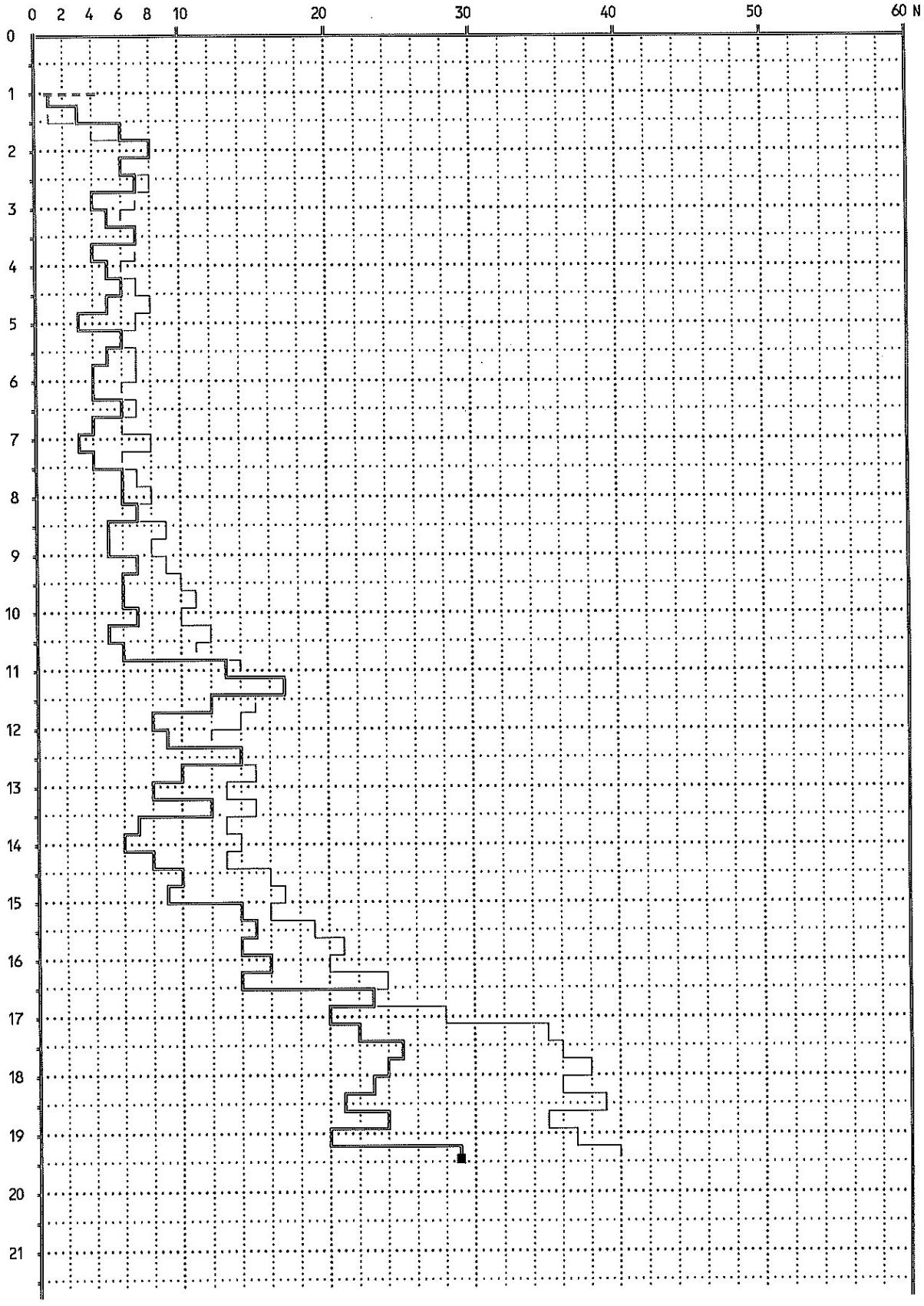
Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante
N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici
—— Punta 60° ϕ= 2'' —— Tubazione di rivestimento ϕ = 1''1/2
- - - Inizio prova m. 0.50 Assenza acqua fino a m.1.30 poi foro ostruito ■ Fine prova m.19.00



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N°:P102** **DATA: 11-1-2023**

Disegno n°:7412102H Località : SETTIMO MILANESE

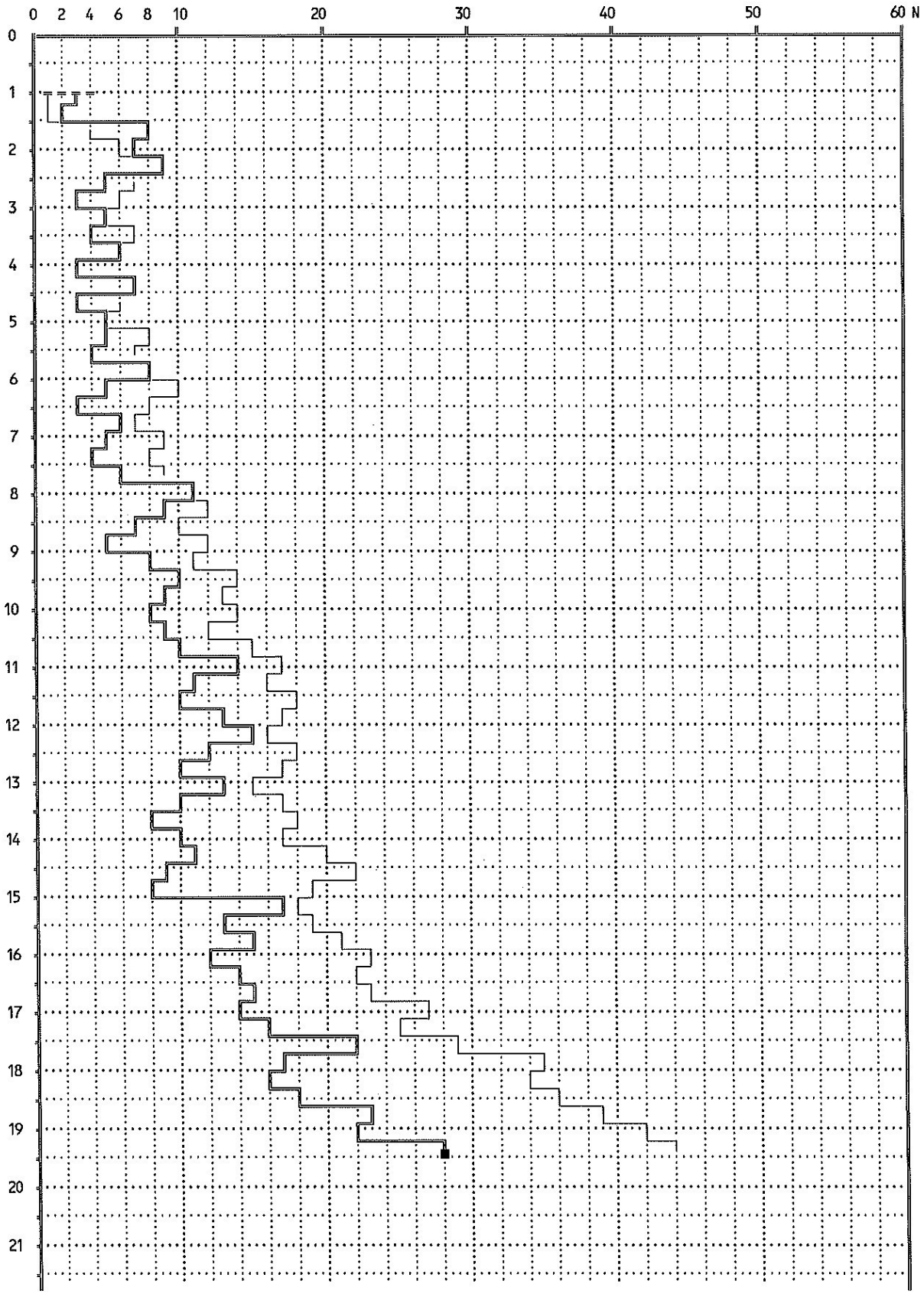
Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante
N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici
—— Punta 60° ϕ= 2'' —— Tubazione di rivestimento ϕ = 1''1/2
= = = Inizio prova m. 1.00 Assenza acqua fino a m.1.70 poi foro ostruito ■ Fine prova m.19.50



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N°:P103** **DATA: 3-2-2023**

Disegno n°:7412103H Località : SETTIMO MILANESE

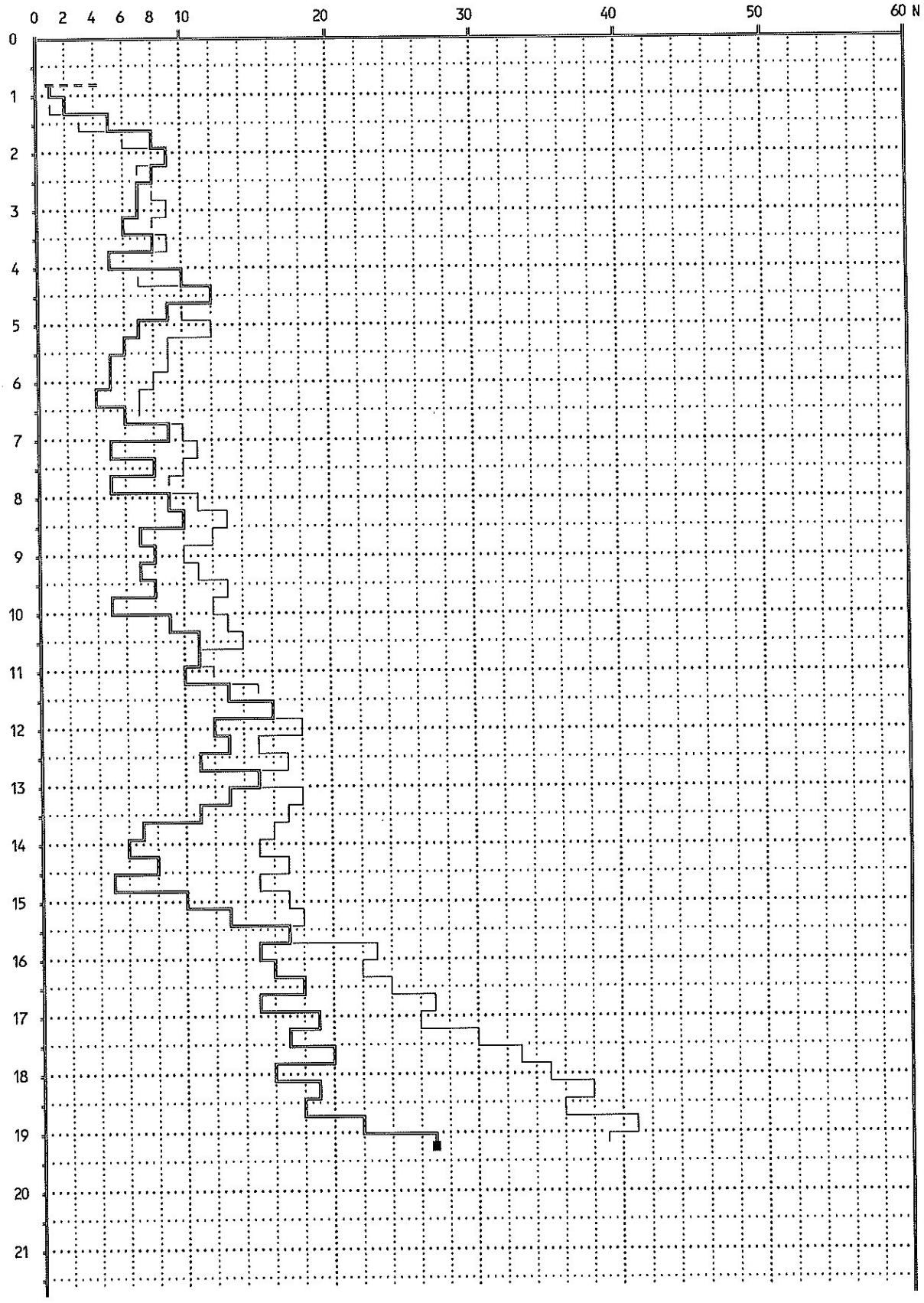
Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante
N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici
—— Punta 60° ϕ= 2'' —— Tubazione di rivestimento ϕ = 1''1/2
= = = Inizio prova m. 1.00 Assenza acqua fino a m.2.30 poi foro ostruito ■ Fine prova m.19.50



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N°:P104** **DATA: 10-1-2023**

Disegno n°:7412104H Località : SETTIMO MILANESE

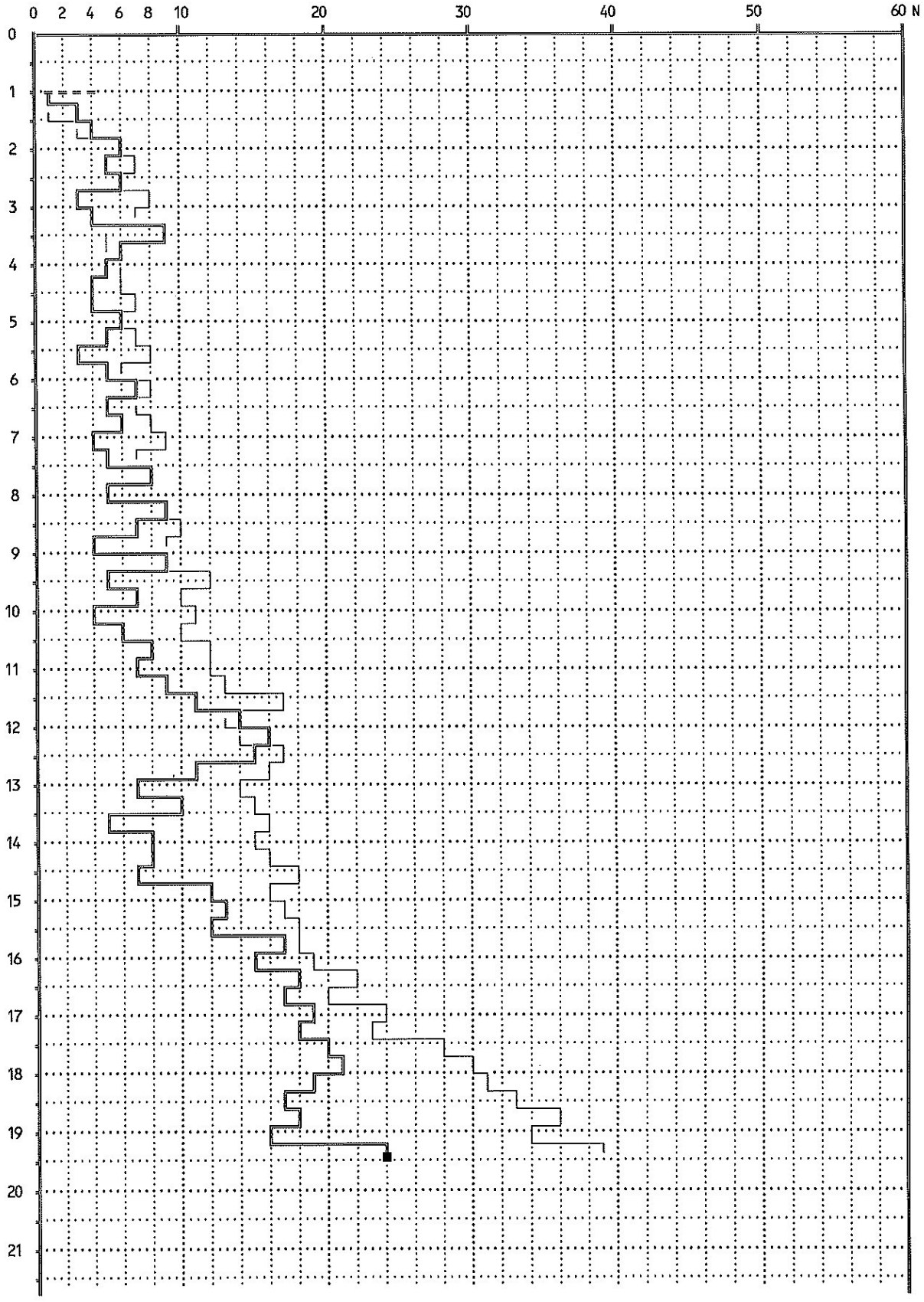
Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante
N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici
—— Punta 60° $\phi$= 2'' —— Tubazione di rivestimento $\phi$ = 1''1/2
= = = Inizio prova m. 0.80 Assenza acqua fino a m.2.20 poi foro ostruito ■ Fine prova m.19.30



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N°:P105** **DATA: 11-1-2023**

Disegno n°:7412105H Località : SETTIMO MILANESE

Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante
N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici
═══ Punta 60° ϕ= 2'' ——— Tubazione di rivestimento ϕ = 1''1/2
- - - Inizio prova m. 1.00 Assenza acqua fino a m.2.00 poi foro ostruito ■ Fine prova m.19.50



STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI - Via Mincio n° 22 - 20139 MILANO

SONDAGGIO GEOGNOSTICO N° S106 DATA: 15-2-2023

Dis. n°: 7412 Località: SETTIMO MILANESE

Inizio sondaggio m. 0.80 Fine sondaggio m. 20.8

| Profondita' | Descrizione | Acqua | N° colpi SPT |
|---|---|---|---|
| 0.8 | INIZIO SONDAGGIO<br>Sabbia fine con limo - colore: marrone chiaro. Tracce di ghiaia fine e pietrisco. Presenza di resti di vegetali fino a m -0.20. | | 4 3<br>4 |
| 3.4 | Sabbia fine con ghiaia fine debolmente limosa - colore: grigio. Tracce di ciottoli. | 3.80 | 4 7<br>6 |
| 5.8 | Ghiaia media sub-angolosa con sabbia fine ciottolosa debolmente limosa - colore: grigio chiaro. | | 3 2<br>2 |
| 8.0 | Sabbia fine ghiaiosa (ghiaia media) limosa debolmente ciottolosa - colore: grigio chiaro/marrone chiaro. | | ●8 6<br>5 |
| 10.1 | Sabbia media con ghiaia media debolmente limosa - colore: grigio chiaro/marrone chiaro. Tracce di ciottoli. | | 6 4<br>5 |
| 15.5 | Limo con sabbia fine argilloso - colore: grigio scuro. Tracce di ghiaia fine. | | 6 9<br>7 |
| 17.8 | Sabbia fine debolmente limosa debolmente ghiaiosa (ghiaia fine) - colore: grigio scuro. Locale aumento della % limosa. | | ●3 4<br>3 |
| | | | ●10 13<br>16 |
| | | | ●8 7<br>5 |
| | | | 11 10<br>13 |
| | | | 12 9<br>12 |
| | | | ●11 13<br>16 |

Piezometro: 3.8

N.B.: ● SPT con punta conica 60°.

STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI - Via Mincio n° 22 - 20139 MILANO

SONDAGGIO GEOGNOSTICO N° S106

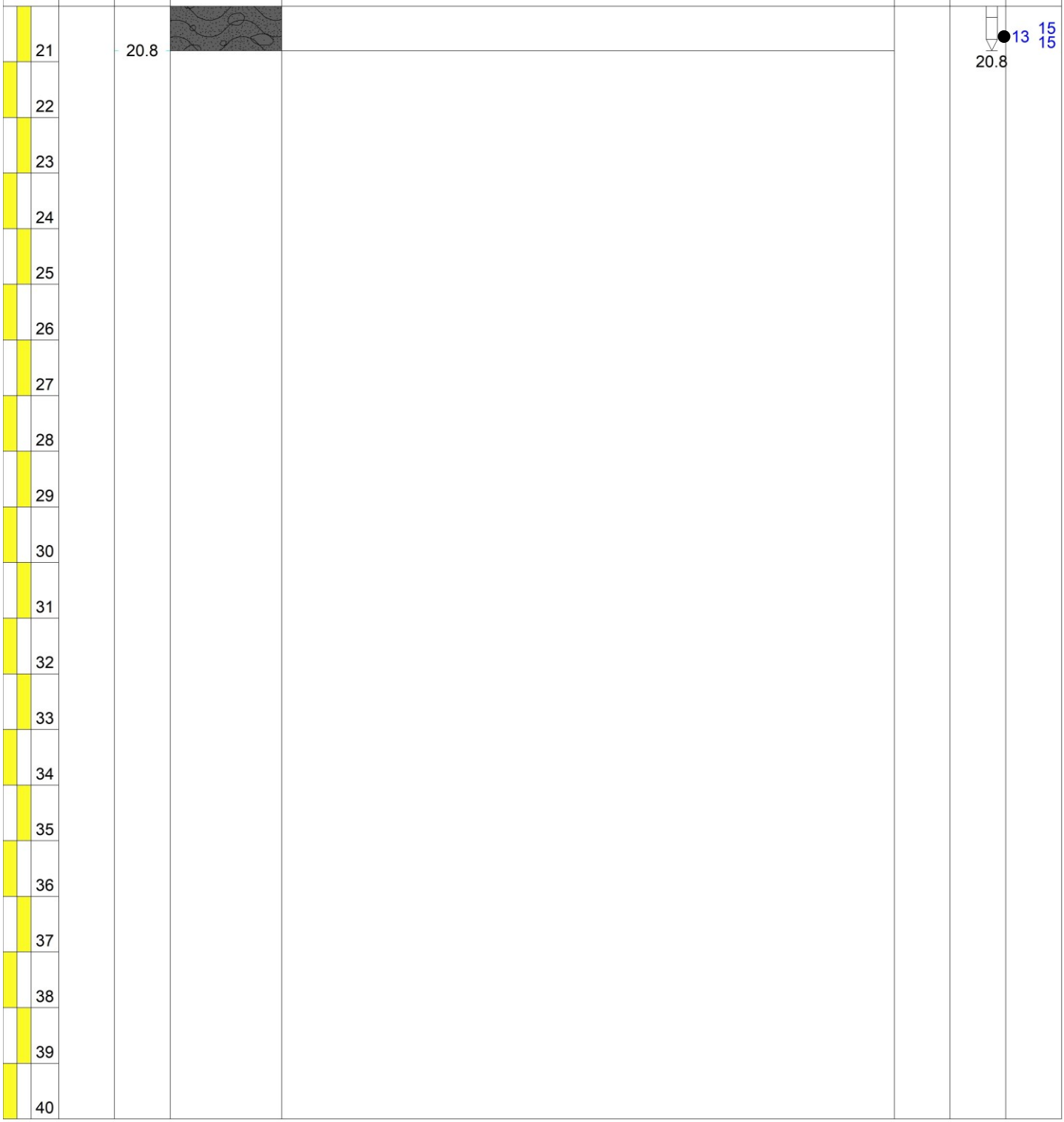
DATA: 15-2-2023

Dis. n°: 7412

Località: SETTIMO MILANESE

Inizio sondaggio m. 0.80

Fine sondaggio m. 20.8



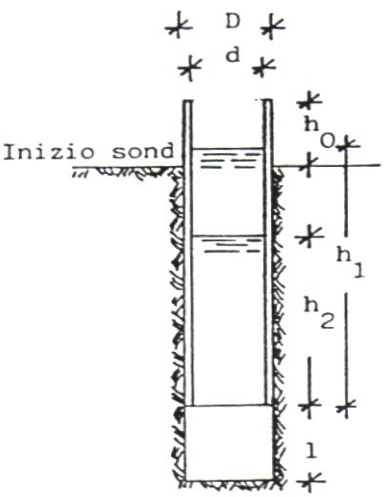

N.B.: ● SPT con punta conica 60°.

# PROVA DI PERMEABILITA' TIPO LEFRANC A CARICO VARIABILE PER ABBASSAMENTO

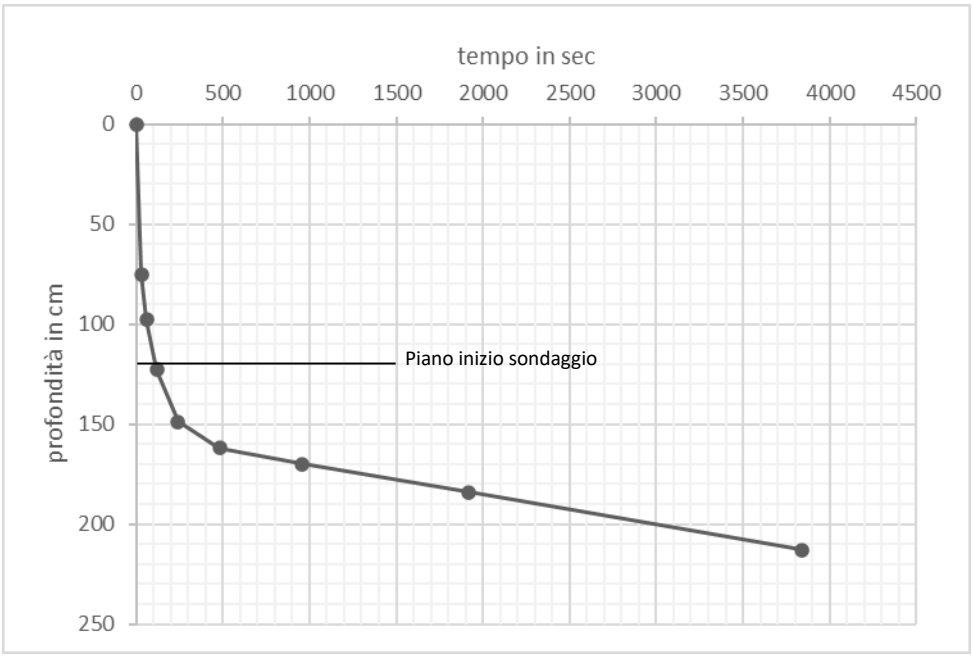
## SONDAGGIO N. S106 — PROVA N. 1

a m. 2.00 da piano inizio sondaggio

Schema di prova




| **t = tempo** (secondi) | **h =abbassamento** (centimetri ) | **q = quantità** (litri) | **Elementi e risultati** |
|---|---|---|---|
| 0" | 0 | 0 | D = 12.7 cm<br>d = 10.7 cm<br>A = 126.6 cm²<br>ho = 120 cm<br>h1 = 270 cm<br>h2 = 57 cm<br>t1 = 0 sec<br>t2 = 3840 sec<br>l = 50 cm |
| 30" | 75 | 6.7 | |
| 60" | 98 | 8.8 | |
| 120" | 123 | 11.0 | |
| 240" | 149 | 13.3 | |
| 480" | 162 | 14.5 | |
| 960" | 170 | 15.2 | |
| 1920" | 184 | 16.5 | |
| 3840" | 213 | 19.1 | |

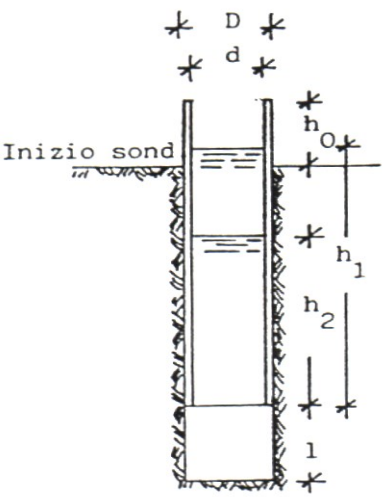


# PROVA DI PERMEABILITA' TIPO LEFRANC A CARICO VARIABILE PER ABBASSAMENTO

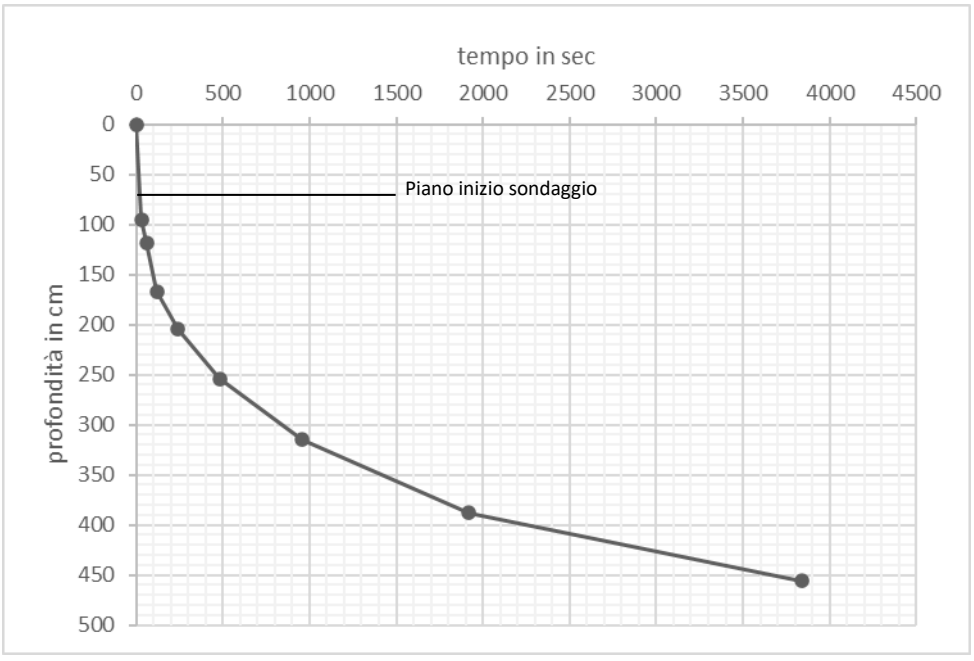
## SONDAGGIO N. S106 — PROVA N. 2

a m. 6.00 da piano inizio sondaggio

Schema di prova



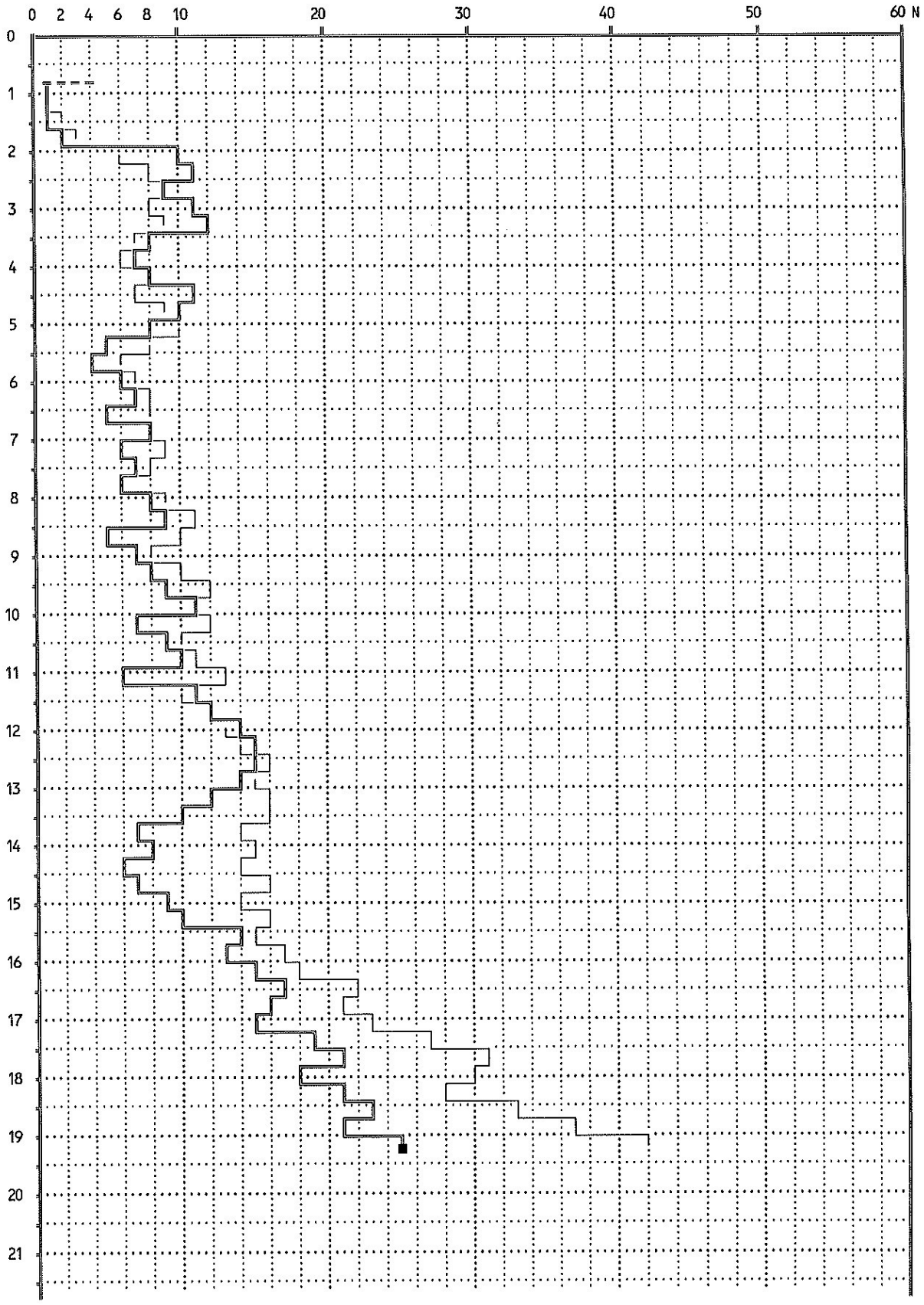

| t = tempo (secondi) | h = abbassamento (centimetri ) | q = quantità (litri) | Elementi e risultati |
|---|---|---|---|
| 0" | 0 | 0 | |
| 30" | 95 | 8.5 | D = 12.7 cm |
| 60" | 118 | 10.6 | d = 10.7 cm |
| 120" | 167 | 15.0 | A = 126.6 cm² |
| 240" | 205 | 18.4 | ho = 70 cm |
| 480" | 254 | 22.8 | h1 = 620 cm |
| 960" | 315 | 28.3 | h2 = 164 cm |
| 1920" | 388 | 34.8 | t1 = 0 sec |
| 3840" | 456 | 40.9 | t2 = 3840 sec |
| | | | l = 50 cm |



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N°:P106** **DATA: 9-1-2023**

Disegno n°:7412106H Località : SETTIMO MILANESE

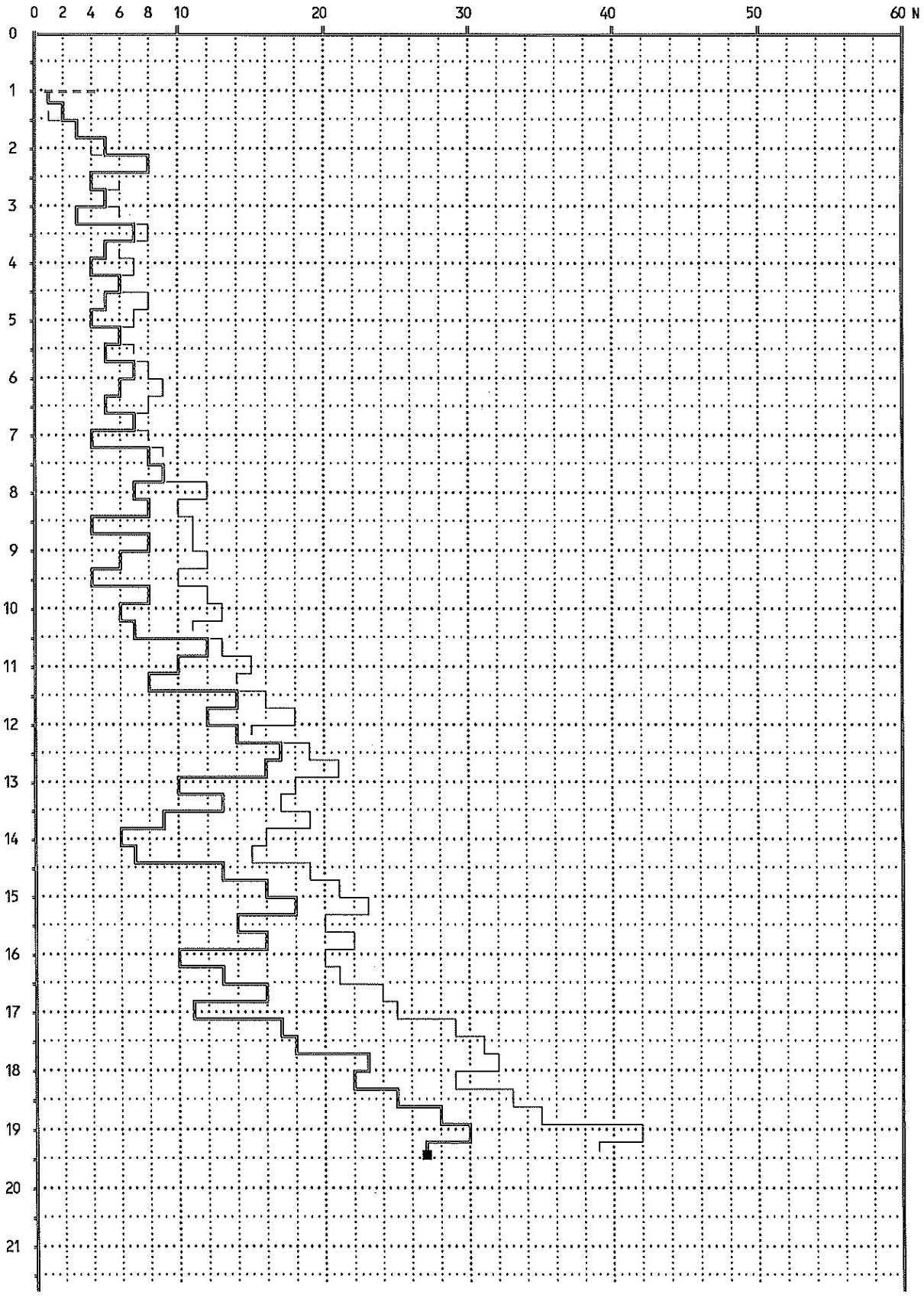
Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante
N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici
═══ Punta 60° ϕ= 2'' —— Tubazione di rivestimento ϕ = 1''1/2
- - - Inizio prova m. 0.80 Assenza acqua fino a m.1.90 poi foro ostruito ■ Fine prova m.19.30



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N°:P107** **DATA: 1-2-2023**

Disegno n°:7412107H Località : SETTIMO MILANESE

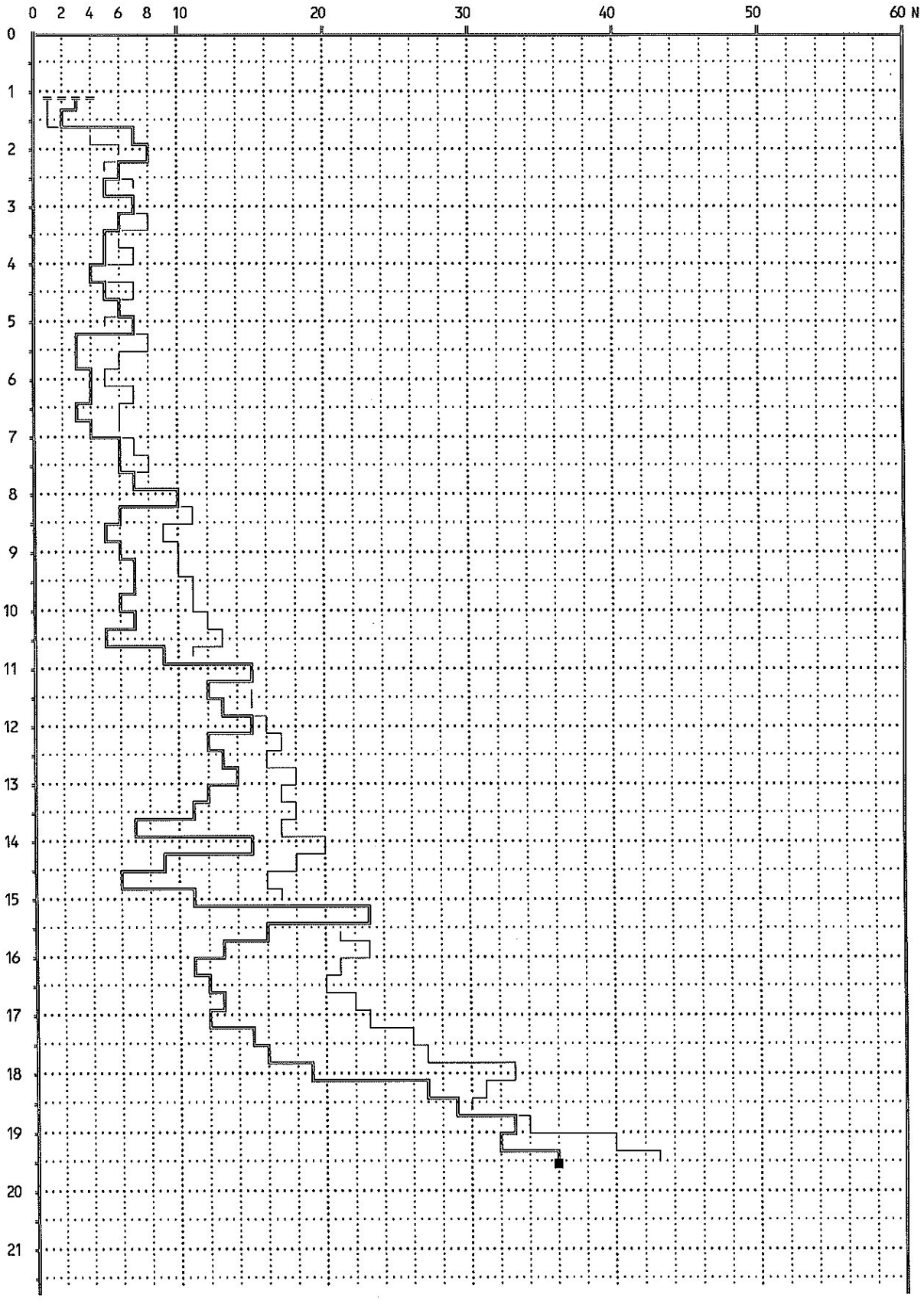
Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante
N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici
—— Punta 60° ϕ= 2'' —— Tubazione di rivestimento ϕ = 1''1/2
- - - Inizio prova m. 1.00 Assenza acqua fino a m.1.80 poi foro ostruito ■ Fine prova m.19.50



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N°:P108** **DATA: 1-2-2023**

Disegno n°:7412108H Località : SETTIMO MILANESE

Penetrometro con asta isolata dal terreno circostante
N = Numero di colpi/piede di affondamento con mazza battente da 160 libbre e volata da 30 pollici
—— Punta 60° ϕ= 2'' —— Tubazione di rivestimento ϕ = 1''1/2
- - - Inizio prova m. 1.10 Assenza acqua fino a m.1.80 poi foro ostruito ■ Fine prova m.19.60



**STUDIO TECNICO GEOM. UGO CELOTTI s.r.l.**
CAPITALE SOCIALE EURO 100.000,00 I.V.
VIA MINCIO, 22 – C.A.P. 20139 **M I L A N O** TEL. 02.5393977 – FAX 02.5392262
e-mail: studiocelotti@studiocelotti.it

SONDAGGI GEOGNOSTICI GEOTECNICI AMBIENTALI GEOARCHEOLOGICI – PROVE SU TERRENI DI FONDAZIONE INDAGINI E RICERCHE GEOLOGICHE E IDROLOGICHE - PERFORAZIONI PROFONDE PER GEOTERMIA PER DISPERSORI PER STRUMENTAZIONI - PROSPEZIONI GEOFISICHE GEOELETTRICHE - RILIEVI TOPOGRAFICI
C.C.I.A.A. REG. DELLE IMPRESE DI MILANO – COD.FISC.-PART.IVA 05092310969 – SOA 3405AL/57/01

Milano, Gennaio 2023

Prot. 7412/RM

Spett.le
GENERALE PREFABBRICATI S.p.A.
Centro Direzionale Quattrotorri
Ellera Scalo
06132 PERUGIA

# INDAGINE GEOFISICA FINALIZZATA AGLI STUDI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA PER LA RISPOSTA LOCALE METODOLOGIA MASW

**SETTIMO MILANESE**
**(Milano)**
**Via Reiss Romoli**

**Relazione**

# INDICE

**1 – PREMESSA.....3**

**2 – CENNI TEORICI.....4**

**3 – ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI.....5**

**3.1 – Strumentazione utilizzata.....5**

**3.2 – Interpretazione dei dati.....6**

**4 – RISULTATI.....8**

**5 – CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI.....11**

**6 – ZONIZZAZIONI SISMICHE PREVISTE DA N.T.C.....12**

## 1 - PREMESSA

Il giorno 9 Gennaio 2023, è stata eseguita una prospezione geofisica in un terreno in comune di Settimo Milanese (Milano) – Via Reiss Romoli.

Al fine di caratterizzare la risposta sismica della zona in esame è stata registrata una sezione geosismica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999), utile a definire il profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs).
Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 17 gennaio 2018.
Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio Vs,i.
La classificazione dei terreni si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio. Essa è definita dalla relazione:

**CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE** ⟶

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

In cui Vs,i e hi sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato e lo spessore dell'i-esimo strato.

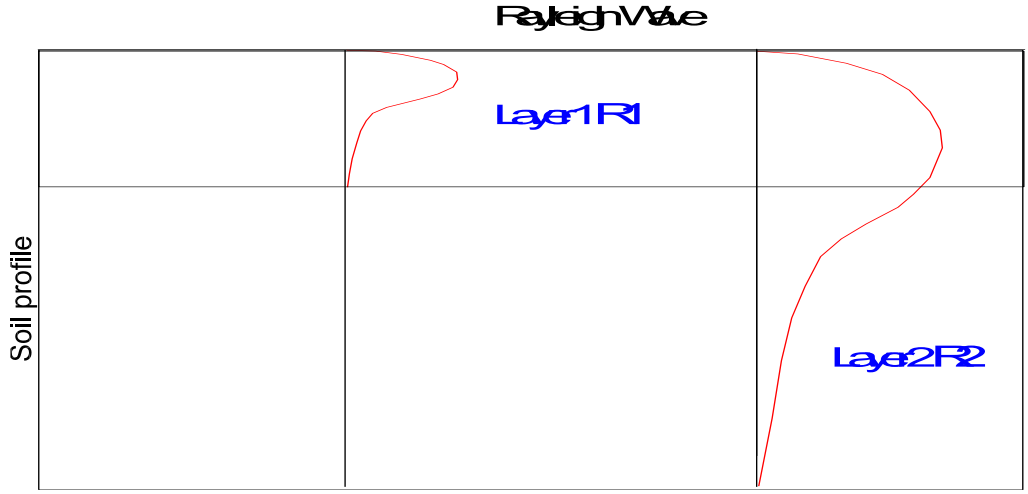
Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

## 2 - CENNI TEORICI

La metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) permette di ricavare le velocità delle onde di taglio verticali Vs dalla determinazione delle velocità delle onde superficiali.

La misura delle velocità delle onde superficiali viene calcolata grazie all'utilizzo di stendimenti di sensori posti in genere a distanze regolari sulla superficie del suolo da indagare.

La porzione che predomina nelle onde superficiali è costituita dalle onde di Rayleigh la cui velocità è correlata alla rigidezza e ai parametri elastici dei suoli attraversati.
E' importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè le alte frequenze e, quindi, con lunghezze d'onda corta, si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno, invece le onde con lunghezze maggiori tendono a coinvolgere gli strati più profondi così come di seguito illustrato.




La metodologia MASW può essere sia *attiva* che *passiva* o la combinazione di entrambe. Nel sistema attivo le onde superficiali vengono generate in un punto noto in modo non casuale e vengono registrate da stendimenti lineari di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento di ricezione può essere sia lineare che circolare e si misura il rumore di fondo ambientale esistente.

Il metodo attivo è quello che meglio permette la classificazione sismica dei suoli perchè fornisce con un miglior dettaglio il profilo delle velocità sismiche nei primi 30 metri da piano campagna. Infatti si ottiene una curva dispersione per un range di frequenze normalmente comprese tra i 5 ed i 70 Hz la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo in funzione anche delle sue caratteristiche elastiche.

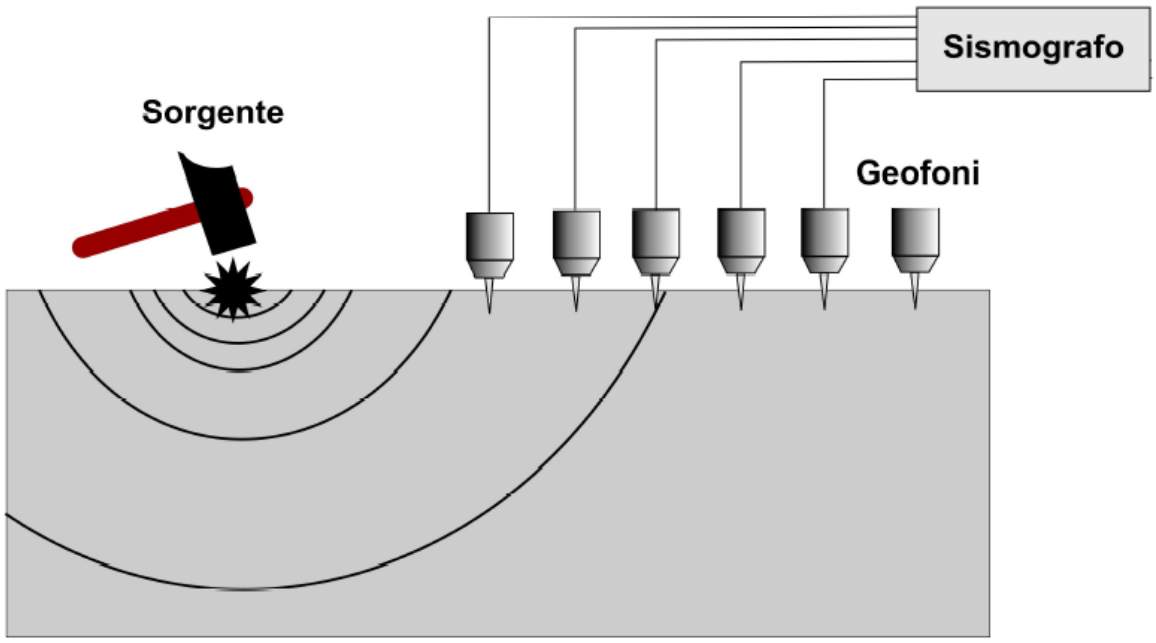
## 3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

### 3.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'acquisizione è avvenuta tramite l'utilizzo di un sismografo a 24 bit modello" ECHO 24/2010 Seismic Unit" che impiega 24 canali in registrazione.
Lo strumento viene collegato ai geofoni verticali aventi frequenza propria di 4,5 Hz, posizionati sul terreno a distanza di 2 metri. Il tempo di registrazione dello strumento è fissato in 2 secondi. Gli offset di energizzazione della MASW sono pari a 5 metri.
Di seguito si elencano le caratteristiche tecniche della strumentazione impiegata:

| | |
|---|---|
| Number of channels: | 24+1 |
| A/D Conversion: | 24 bits |
| Dynamic range: | 130 dB @ 1ms PG=0 dB<br>120 dB @ 1ms PG=18 dB |
| Cross talk: | >90 db |
| Preamplify gain: | 0 db, 6 db, 12 db, 24 db, 30 db, 36 db |
| Frequency response: | 0 to 6 KHz (30kSPS)<br>0 to 4,8 KHz (15kSPS)<br>0 to 3 KHZ (7,5kSPS)<br>0 to 1,5 Khz (3,5kSPS)<br>0 to 800Hz (2kSPS)<br>0 to 400Hz (1kSPS) |
| Acquisition and display filter: | Low Cut Out<br>10.15.25.35.50.70.100.200.280.400 Hz |
| Sampling interval: | 32us,64us,128us,256us,480us,960us |
| Record length: | 16000 samples |
| Stacking trigger accuracy: | 1/32 of samples interval |
| Distorsion (THD): | 0,0004 % |
| Max input signal: | 2Vpp, Odb |
| Common Mode Rejection: | 110 dB |
| Noise: | 0,25 uV, 2ms, 36 Db |
| Pre-trigger data: | 524 ms @ 32 us sample interval |
| Delay: | 0 to 2500 ms step 10 ms |
| Temperature range: | -30°C/+70°C |
| Power: | 12 Volts |
| Continuos recording: | HVSR |
| Output format: | SEG - Y |

Di seguito viene riportata una figura che illustra la disposizione dei sensori e la trasmissione dell'impulso.



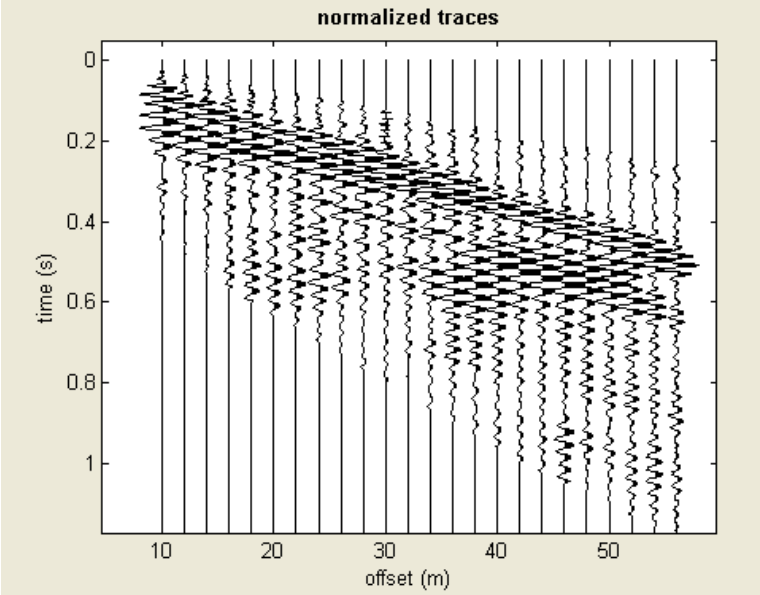

### 3.2 INTERPRETAZIONE DEI DATI

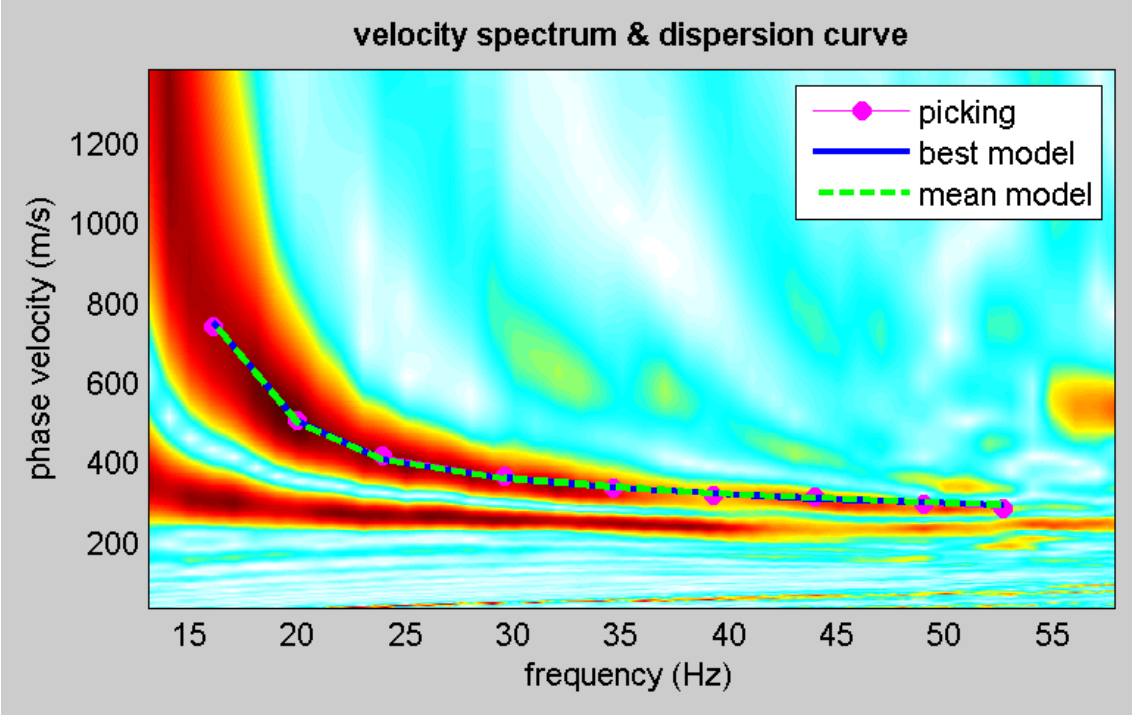
La procedura elaborativa prevede, sinteticamente, i seguenti passi:

- Trasformazione dei files in formato compatibile
- Immissione delle geometrie di acquisizione dei dati (sorgente e ricettori)
- Generazione dell'immagine di dispersione
- Analisi della curva di dispersione (picking)
- Verifica dei modi
- Modellazione e/o inversione
- Calcolo del parametro Vs30 dal profilo delle velocità di taglio

Il software utilizzato per l'interpretazione è WinMASW 4.1.1 Pro (Eliosoft).

Di seguito un esempio di acquisizione da cui si ottiene la curva di dispersione, ossia lo spettro di velocità calcolato a partire dalle tracce registrate sui geofoni dello stendimento. Viene riportato anche il piccaggio per la modellazione e/o inversione.



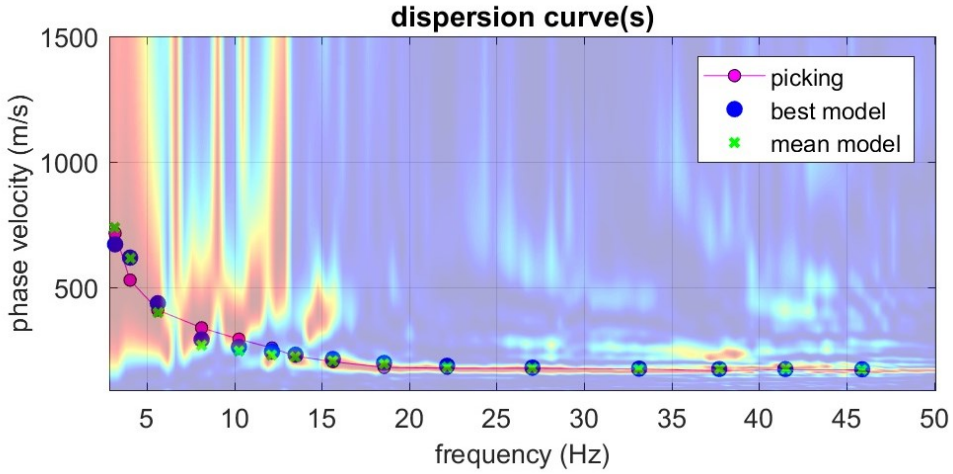



## 4 - RISULTATI

L'ubicazione della prova è riportata nel disegno n. 7412/1A.

L'immagine successiva propone la curva di dispersione ossia lo spettro di velocità calcolato a partire dalle tracce registrate.

**MASW – Settimo Milanese (MI) – Via Reiss Romoli**

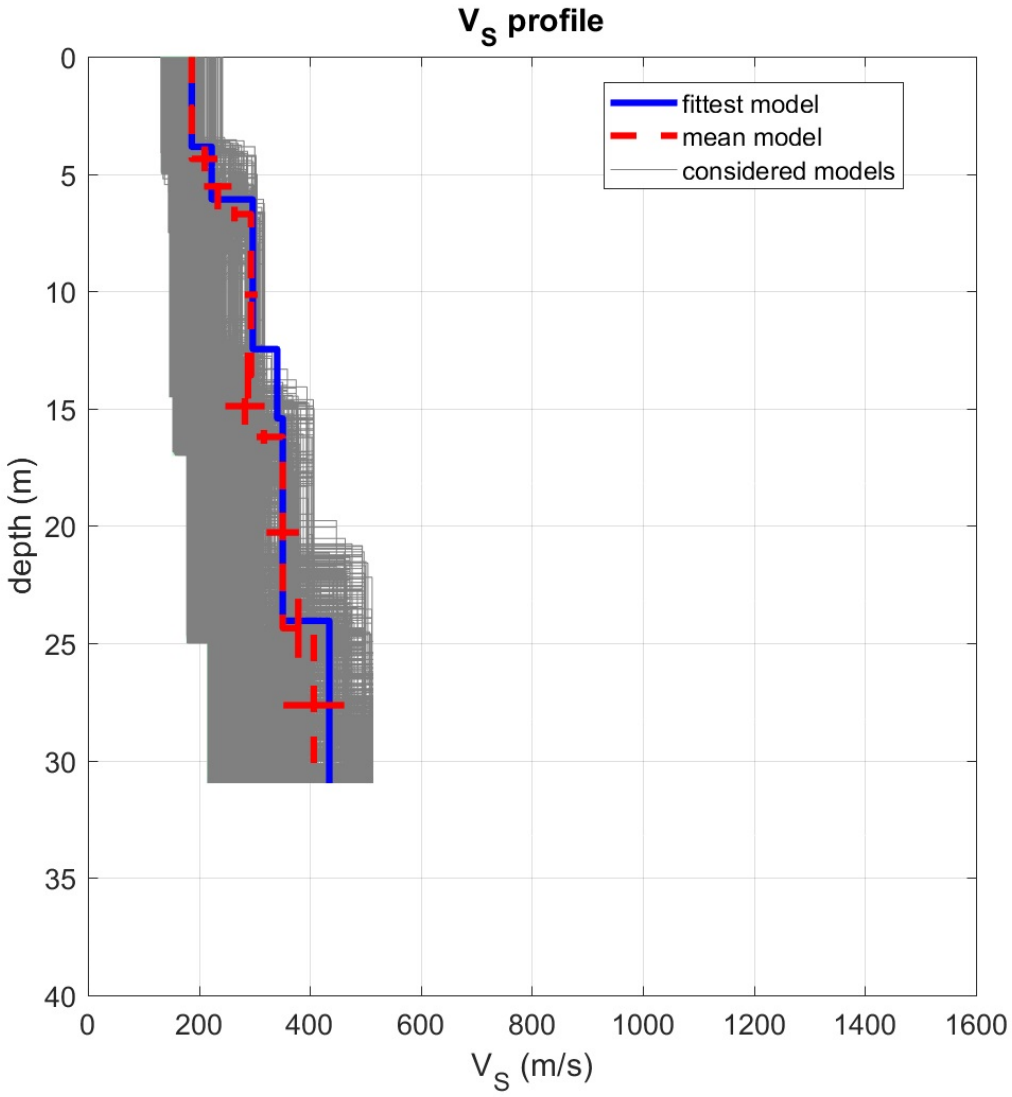



Spettro velocità sezione Masw

Il picking della curva e la modellazione diretta e/o dal processo di inversione, portano all'ottenimento della curva di dispersione interpretata e, di conseguenza, al profilo verticale delle onde di taglio Vs da cui si ricava il parametro Vs,eq richiesto dalla normativa.

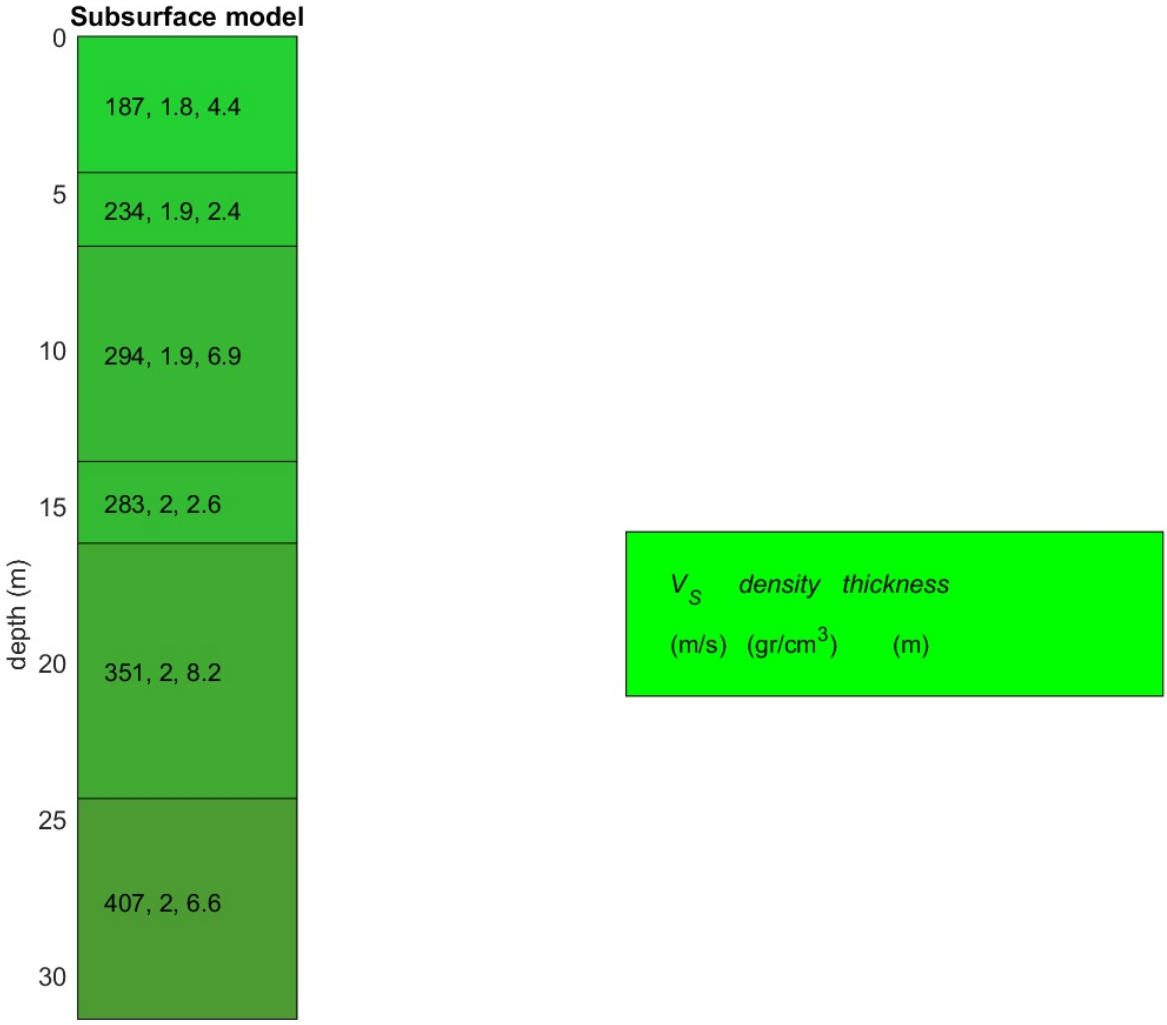
E' da tenere in considerazione che molteplici modelli di distribuzione delle velocità delle onde di taglio portano al medesimo risultato del parametro Vs,eq, ciò significa che senza un'opportuna disponibilità di dati stratigrafici attendibili il parametro di legge risulterà significativo, ma la distribuzione delle velocità sarà solamente indicativa.
Il grafico sotto riportato invece mostra il modello del profilo verticale Vs scelto come rappresentativo del singolo punto indagato.

| | |
|---|---|
| **MASW**<br>**SETTIMO MILANESE (MI)**<br>**Via Reiss Romoli** | **Vs30 = 298 m/s** |



**STRATIGRAFIA**

**MASW – Settimo Milanese (MI) – Via Reiss Romoli**



## 5 - CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI

L'analisi delle onde di Rayleigh a partire dai dati di sismica attiva (MASW) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs e, di conseguenza, il parametro Vs30 per il punto d'indagine.

La tabella sotto riportata mostra il valore Vs30 calcolato a partire dalla quota d'imposta fondazioni prevista (a m -1.50 circa dall'attuale piano campagna) e la classe di suolo di appartenenza rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018).

| Nome prova | Vs30 | Classe suolo |
|---|---|---|
| **MASW SETTIMO MILANESE (MI) Via Reiss Romoli** | **298 m/s** | **C** |

***"C" – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.***

***Bibliografia:***

Dal Moro G., Pipan M. & Gabrielli P., 2007, Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probabilità Density Evaluation, J. Appl. Geophysics, 61, 39-55

Park C. B., Miller R. D., & Xia J., 1999, Multichannel analysis of surface waves, Geophysics, 64, 3; 800 -808.

## 6 – ZONIZZAZIONI SISMICHE PREVISTE DA N.T.C.

Viene qui sotto riportata la classificazione sismica dei suoli secondo la normativa ufficiale italiana (DM 17 gennaio 2018):

A – Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo di 3 m.

B – Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D – Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E – Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

**STUDIO TECNICO GEOM. UGO CELOTTI s.r.l.**
CAPITALE SOCIALE EURO 100.000,00 I.V.
VIA MINCIO, 22 – C.A.P. 20139 **M I L A N O** TEL. 02.5393977 – FAX 02.5392262
e-mail: studiocelotti@studiocelotti.it

SONDAGGI GEOGNOSTICI GEOTECNICI AMBIENTALI GEOARCHEOLOGICI – PROVE SU TERRENI DI FONDAZIONE INDAGINI E RICERCHE GEOLOGICHE E IDROLOGICHE - PERFORAZIONI PROFONDE PER GEOTERMIA PER DISPERSORI PER STRUMENTAZIONI - PROSPEZIONI GEOFISICHE GEOELETTRICHE - RILIEVI TOPOGRAFICI
C.C.I.A.A. REG. DELLE IMPRESE DI MILANO – COD.FISC.-PART.IVA 05092310969 – SOA 3405AL/57/01

Milano, 04/09/2023

Prot. N. 7412/028/23/R3-REV01

Spett.le
**GENERALE PREFABBRICATI S.P.A.**
**CENTRO DIREZIONALE QUATTROTORRI**
Ellera Stazione
PERUGIA

OGGETTO: Indagini geognostiche e geotecniche eseguite nel terreno di fondazione di un edificio pluripiano a servizio del Data Center DC08.2 di prossima realizzazione nel Comune di SETTIMO MILANESE (MI) – VIA REISS ROMOLI, 33.
*RELAZIONE GEOTECNICA INTEGRATIVA*

---

Le presenti note fanno seguito e costituiscono integrazione della relazione geotecnica prot. n° 7412/028/23 del 06/03/2023. Hanno lo scopo di proporre e di analizzare per l'edificio in oggetto una tipologia di fondazione alternativa a quella trattata nella relazione di riferimento, nella fattispecie una fondazione diretta superficiale a platea.

## *Riferimento altimetrico*

Il riferimento delle profondità adottato nel seguito è posto alla +132,93 m s.m.m..
Viene considerato posto a -0,62 m dallo zero del progetto (+133,55 m s.m.m.).

## *Documentazione consultata*

- ***a)*** Relazione geotecnica prot. n° 7412/028/23 del 06/03/2023 a firma del dott. Ing. U. Croce.
- ***b)*** *"Relazione geologica (R1+R3)"* prot. n. 7412/B del Settembre 2023 a firma del dott. Geol. Luigi Maurizio Paternò.

P.P.V.

Generale Prefabbricati S.p.A.
Progettista delle Strutture
Dott. Ing. Andrea Bagiana
Ordine degli Ingegneri di Perugia n. A4122

## *Normative*

- Decreto ministero LL.PP. del 17/01/18.
- Circolare esplicativa n° 7 del 21/01/19.
- Delibera Giunta regionale 11 luglio 2014 - n. 2129.

## *Riferimenti bibliografici*


- J. E. BOWLES – "Foundation Analysis and Design" – (1982 e 1988).
- M. JAMIOLKOWSKI, E. PASQUALINI – "Previsioni dei cedimenti delle fondazioni superficiali poggianti su terreni sabbiosi utilizzando ..." – V Ciclo annuale di conferenze dedicate ai problemi di ingegneria delle fondazioni – TORINO (1974).
- T. W. LAMBE; R. V. WHITMAN – *"Soil Mechanics"* – (1969).
- R. LANCELLOTTA – "Geotecnica" – Ed. ZANICHELLI – (1993).
- E. SCHULTZE, J. MEZEMBACH – "SPT and Compressibility of Soils" – V ICSMFE (1961).
- F. SCHNAID – "In Situ Testing in Geomechanics" – Taylor & Francis (2009).
- K. TERZAGHI – "Theoretical Soil Mechanics" – (1943).
- VIGGIANI C. – "Fondazioni" – (2003).


## *Codici di calcolo*

- Fogli EXCEL sviluppati dagli scriventi collaudati e ottimizzati sulla scorta dei lavori svolti. Gli algoritmi, i parametri d'ingresso, i risultati parziali e definitivi sono riportati nelle sezioni di restituzione delle elaborazioni.

## *Limitazioni*

Questa relazione è redatta in conformità alle normative sopra elencate e nel rispetto delle pratiche dell'ingegneria geotecnica più aggiornate.
E' destinata ad essere utilizzata dalla Committente, e dai suoi rappresentanti per le esigenze progettuali.
Non deve essere utilizzata per altri fini in quanto potrebbe contenere informazioni non sufficienti e non confacenti.
Si raccomanda di verificare le informazioni indicate nel seguito relative al progetto cui tale relazione si riferisce. Qualora fossero errate o incomplete o fossero da aggiornare, il presente documento dovrà essere oggetto di revisione.

# *Capitolo 1* ***CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA***

Per l'analisi della fondazione a platea di seguito riportata viene fatto riferimento alla caratterizzazione geotecnica riportata nel doc. rif. a) alla quale si rimanda per una disamina di dettaglio.
Nel seguito ne viene riportata la sintesi limitatamente all'interesse specifico.

## *1.1 - Litologia*

I terreni del sito in esame sono costituiti in prevalenza da ghiaia e sabbia. Con il tetto alla -19 m, è presente una intercalazione a prevalente frazione limoso-argillosa di media consistenza, contaminata da ghiaia e sabbia, avente uno spessore dell'ordine dei 2,5÷3 m.
In generale i terreni sono risultati deposti in uno stato di addensamento medio-basso fino all'intercalazione.
In profondità, dalla -18 m circa, si ritrova la sabbia e la ghiaia, che costituiscono lo strato D, con associata una resistenza penetrometrica dell'ordine dei 25÷30 colpi/piede che indica materiali deposti in uno stato di addensamento medio al tetto, in aumento con la profondità.

## *1.2 - Idrologia*

L'indagine ha segnalato la presenza dell'acqua di falda alla quota $Q_w$ pari a:

$$Q_w = -3{,}8 \text{ m.}$$

Nel seguito, anche in considerazione di condizioni particolarmente sfavorevoli, si prefissa la quota di progetto $Q_{w,p}$ della falda acquifera pari a:

$$Q_{w,p} = -2{,}5 \text{ m.}$$

E' a tale quota cui nel seguito viene fatto riferimento.

## *1.2 - Caratteristiche geotecniche dei terreni*

Nella figura 1.1 si riportano i principali parametri geotecnici dedotti tramite correlazione, dalla resistenza penetrometrica $N_{SPT}$.
Nella tabella 1.1 si riporta il modello geotecnico dedotto da quanto sopra riportato, cui viene fatto riferimento nelle analisi seguenti.

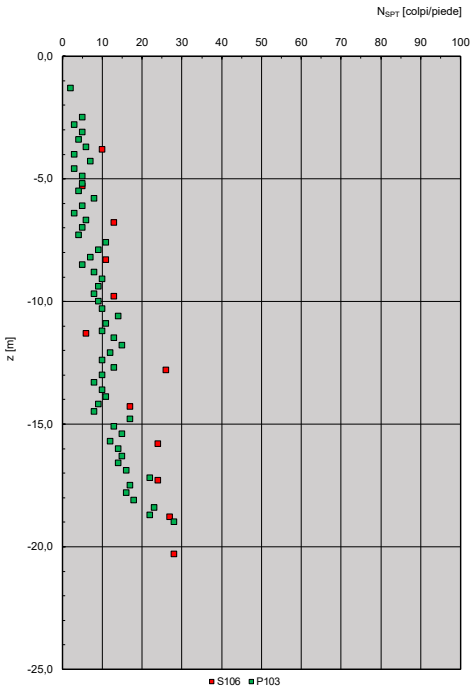
**TABELLA 1.1 – MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO**

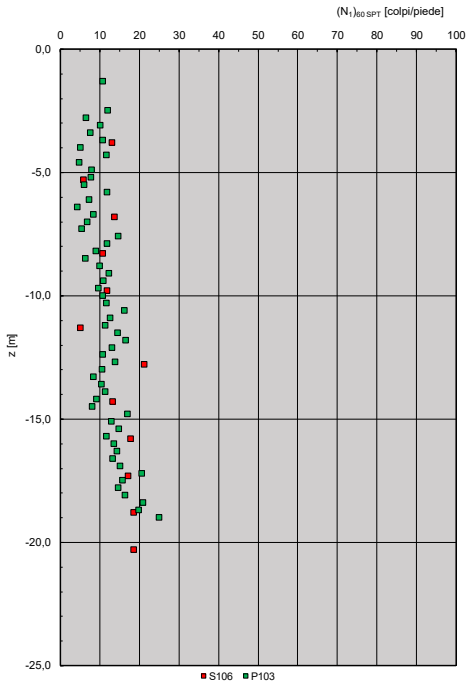
| Strato | $Q_L$ [m] | $\gamma$ [daN/cm$^3$] | $\gamma_s$ [daN/cm$^3$] | c [kPa] | $c_u$ [kPa] | $\varphi$ [gradi] | $C_{c,s}$ [/] | $C_{r,s}$ [/] | OCR [/] | $E_i$ [daN/cm$^2$] | $E_{i,ed}$ [daN/cm$^2$] | v [/] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | -5 | 0,019 | 0,021 | 0 | 0 | 25,1 | - | - | - | 368 | 496 | 0,3 |
| 3 | -15 | 0,019 | 0,021 | 0 | 0 | 27,0 | - | - | - | 600 | 810 | 0,3 |
| 4 | -18 | 0,019 | 0,021 | 0 | 150 | 26,0 | 0,11 | 0,025 | 1,5 | 203 | 275 | 0,3 |
| 5 | - | 0,019 | 0,021 | 0 | 0 | 30,0 | - | - | - | 1575 | 2126 | 0,3 |

Nella tabella si è indicato con:

$Q_L$ la quota del letto dello strato,
$\gamma$ il peso di volume fuori falda,
$\gamma_s$ il peso di volume saturo,
$c_u$; c la coesione totale ed efficace,
$\varphi_c$ l'angolo d'attrito operativo,
$C'_c$; $C'_r$ gli indici di compressibilità, ricompressione edometrica,
OCR il rapporto di sovraconsolidazione,
$E_i$; $E_{i,ed}$ il modulo di YOUNG ed il modulo edometrico tangente iniziale,
$\nu$ il rapporto di POISSON.

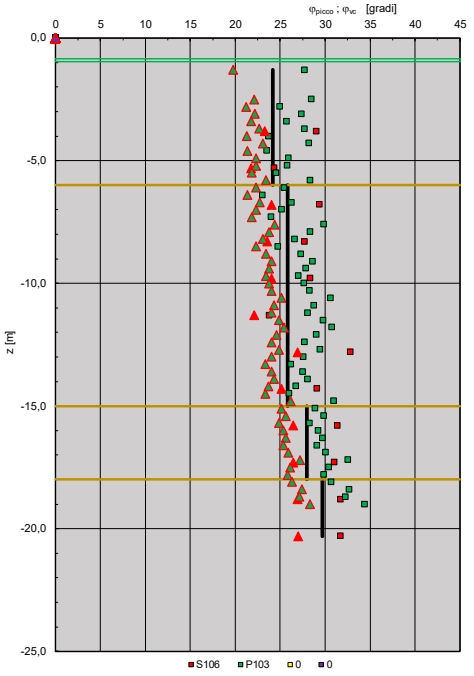
# FIGURA 1.1 – PARAMETRI GEOTECNICI DA RESISTENZA NSPT



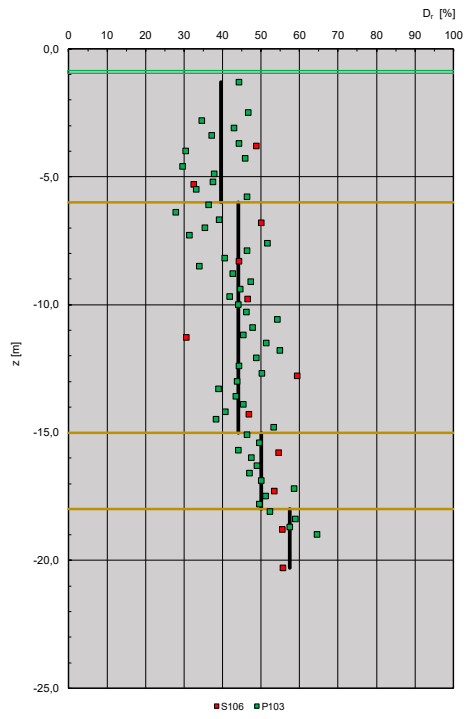

**$(N_1)_{60} = N_{SPT} * E_F/60 * C_N$**

$(N_1)_{60} = N_{SPT}$ normalizzata a una tensione efficace verticale=100 kPa
$N_{SPT}$ = resistenza penetrometrica SPT misurata
$E_F$ = efficienza macchin. italiani =65%, riferita al rendim. del 60%
$C_N = (98,1/\sigma'_{v0})^{.5}$ [kPa] = fattore di correzz.(LIAO & WHITMANN-1986)



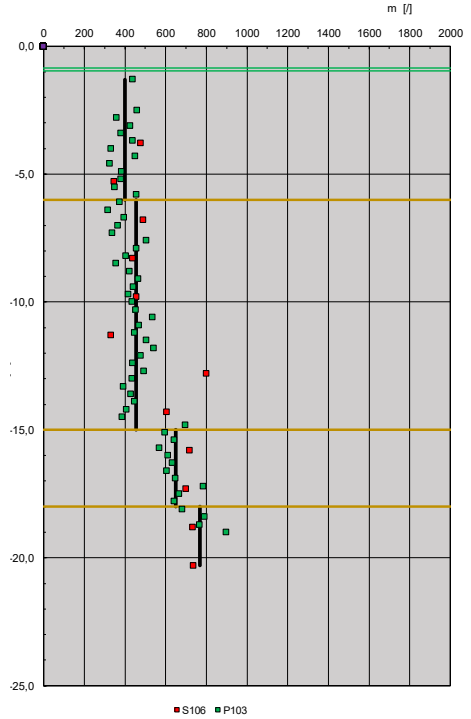

**$\varphi$=15+[15*$(N_1)_{60}$]$^{.5}$ sabb fini lim-SHIOI&FUKUNI-1982; ROAD BRIDGE SP.**

$\varphi$ = 27+0,3*$(N_1)_{60}$ (sabbie medio grosse;sabbie ghiaiose;JAPANESE NATIONAL RAILWAY)
$\varphi$ = 15+[20*$(N_1)_{60}$]$^{.5}$ (sabbie medio grosse e sabbie deb. ghiaiose - OWASAKI&IWASAKI)



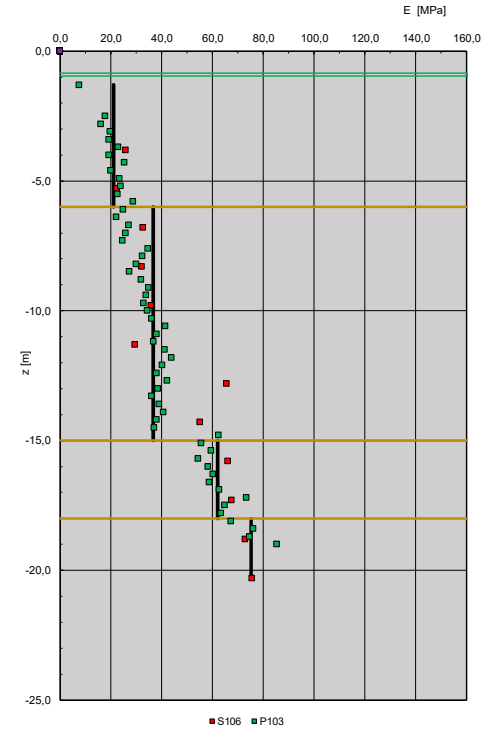

**m = grad.modulo E (Young)=a*e$^{(b*Dr)}$ (JAMIOLKOWSKI-PASQUALINI; 1975)**

a, b = parametri adimensionali funzione della granulometria del terreno assunti pari a:
a = 180, 210, 250
b = 0,02, 0,0225, 0,25
rispettivamente per sabbie fini, sabbie medie, sabbie grosse,
$D_r$ = densità relativa.




**$D_r = [(N_1)_{60}/A]^{.5}$ (SKEMPTON - 1986)**

$(N_1)_{60} = N_{SPT} * E_F/60 * C_N$
$(N_1)_{60}$ = resistenza penetrom. SPT normalizzata a una tensione efficace verticale di 100 kPa
$N_{SPT}$ = resistenza penetrometrica SPT misurata
$E_F$ = efficienza dei macchinari italiani stimato al 65%, riferita al rendimento del 60%
$C_N = (98,1/s'_{v0})^{.5}$ [kPa] = fattore di correzione (LIAO & WHITMANN - 1986)
A = 55, 60, 65 rispettivamente per sabbie fini, sabbie medie, sabbie grosse.




**$E = m\,(\sigma'_r/\sigma_r)^n\,\sigma_r$**

m = gradiente del modulo = a * e $^{(b*Dr)}$ (JAMIOLKOWSKI-PASQUALINI - 1975)
n = esponente del modulo
$\sigma'_r$ = pressione di conten. effic [kg/cm2]calcolata adottando un coeff. a riposo = 1-sin $\varphi$
$\sigma_r$ = pressione di riferimento = 100 per E in kPa

E = 196,2 * B * $(N_1)_{60}$ (SCHMERTMANN)

B = 4, 6, 10 rispettivamente per sabbie fini, sabbie medie, sabbie grosse.

E = A * $(N_1)_{60}$ (CLAYTON 1993)

A = coefficiente di correlazione variabile in funzione di $(N_1)_{60}$

## *1.3 - Sismicità dell'area*

Si rimanda al doc. rif. b) per i dettagli sull'argomento.
Nel seguito se ne riporta la sintesi per quanto d'interesse specifico.

- ***a)*** Il sito in esame appartiene alla ZONA 4.
- ***b)*** Sulla scorta dei risultati derivanti dalle prove geofisiche si deduce il valore della $v_{s,30}$ pari a:

$$v_{s,30} = 298 \text{ m/s},$$

i terreni dell'area in esame fanno parte della **CATEGORIA DI SUOLO C.**

- ***c)*** L'area d'insediamento dell'edificio è pianeggiante. Ne consegue un valore massimo del coefficiente di amplificazione topografica $S_T$ pari a:

$$S_T = 1{,}0.$$

- ***d)*** Le verifiche strutturali nei diversi stati limiti vanno condotte adottando le azioni sismiche che sono funzione della "pericolosità sismica" dell'area.
La "pericolosità sismica" è definita a partire dall'accelerazione orizzontale massima attesa $a_g$ in condizioni di campo libero su suolo rigido, con piano campagna orizzontale.
Da tutto quanto sopra, in relazione al piano di caratterizzazione sismica, e quindi del tempo di ritorno dell'evento, si potranno definire i valori dei parametri da utilizzare per la valutazione delle azioni di progetto dovute al sisma $a_g$, $F_0$, $T^*_c$.

## *1.4 – Suscettibilità alla liquefazione*

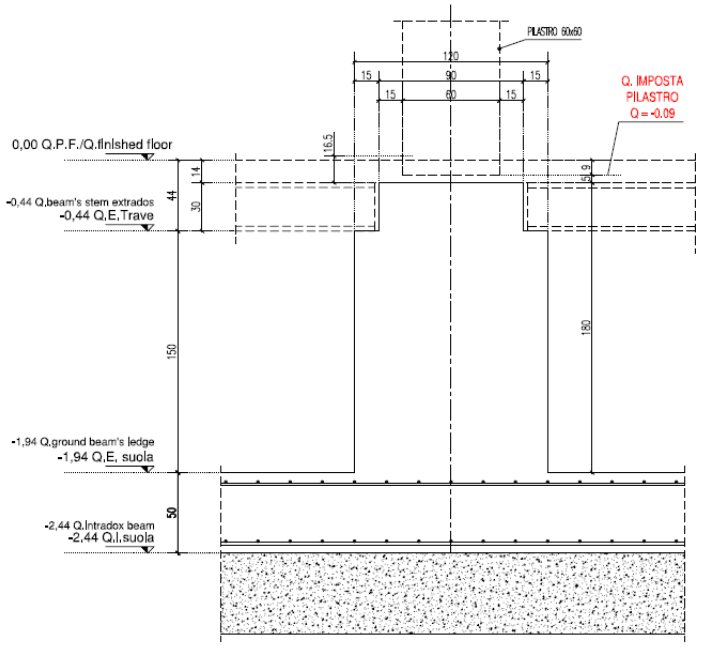
Si rimanda al doc. rif. b) per i dettagli sull'argomento.

# *Capitolo 2* ***CARATTERISTICHE SOMMARIE DEL PROGETTO***

Il progetto prevede la costruzione di un edificio multipiano a servizio di un Data Center DC08.2.
L'edificio presenta n° 3 piani fuori terra per un totale di superficie utile pari a 15400 $m^2$ circa.
Si sviluppa su una pianta rettangolare che per esigenze di modellazione viene considerata di forma rettangolare di dimensioni 65*90 $m^2$.
La struttura si compone di elementi in calcestruzzo prefabbricato a telaio.
Come si evince dalla figura 2.1, nell'ipotesi di spessore pari a 0,5 m, la platea di fondazione è prevista impostata alla quota $Q_f$ pari a:

$$Q_f = -2{,}1 \text{ m.}$$

**FIGURA 2.1 – SEZIONE TIPO PLATEA DI FONDAZIONE**




Dalle sollecitazioni sul pilastro ritenuto rappresentativo della globalità dei pilastri dell'edificio in esame, considerando un'area di influenza di competenza del pilastro pari a 65 $m^2$ circa e le forze risultanti agli SLE e SLU pari a:

$$N_{SLE\text{-}rara} = 6307 \text{ kN}$$

$$N_{SLU} = 8854 \text{ kN},$$

risultano le sollecitazioni medie di contatto fondazione-terreno, trascurando il peso proprio della platea, pari a:

$$q_{t_SLE} = 100 \text{ kPa}$$
$$q_{t_SLU} = 140 \text{ kPa}.$$

Una valutazione più rigorosa della pressione di contatto platea-terreno di primo approccio potrà essere effettuata con il modello di calcolo strutturale adottando un valore del coefficiente di sottofondo per terreno alla Winkler pari all'unità (k = 10000 kN/m$^3$).

# *Capitolo 3* ***FONDAZIONI***

## *3.1 – Definizione della tipologia di fondazione da adottare per le strutture in progetto*

Il modello geotecnico riportato nel capitolo 2 commisurato con le caratteristiche strutturali e di carico deducibili dalle indicazioni di progetto riportate nel capitolo 2, rende ammissibile l'adozione della platea di fondazione prevista dal progetto con il vincolo di bonificare i terreni di sedime per uno spessore di previsione pari a 0,5 m.
Ciò premesso, nel seguito viene analizzata tale fondazione.

## *3.2 - Analisi fondazioni*

### *3.2.1 - Calcolo della resistenza $R_D$ per collasso del complesso fondazione-terreno (SLU – GEO)*

Nell'analisi delle fondazioni sono considerati i meccanismi di stato limite ultimo a lungo termine. Quelli a breve termine non sono presi in esame attesa l'elevata permeabilità dei terreni coinvolti dalla variazione tensionale indotta dalle fondazioni in esame.
Sono forniti gli elementi essenziali per eseguire le verifiche richieste dalle NTC18 riportate nel §6.4.2.1.
In particolare, escludendo la verifica di stabilità globale in quanto il sito in esame è ubicato in area pianeggiante, viene calcolata la resistenza SLU per collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno.

### *3.2.2 – Calcolo dei cedimenti*

Nell'Appendice A si riportano in breve sintesi le modalità di calcolo dei cedimenti. Per maggiore dettaglio si fa presente quanto segue.

- Si è fatto riferimento alla teoria dell'elasticità.
- Il terreno è stato suddiviso in strati di spessore costante aventi caratteristiche meccaniche omogenee considerando i modelli geotecnici riportati nel capitolo 2.
- La diffusione con la profondità della pressione trasmessa dalla fondazione al terreno, ipotizzata infinitamente flessibile, è stata valutata nell'ipotesi di terreno a semispazio elastico, isotropo, omogeneo alla BOUSSINESQ.

- Il cedimento $w_i$ dello strato iesimo è calcolato nei vari punti dell'area di carico tramite l'espressione approssimata:

$$w_i = \Delta p_i * \Delta H_i / E_i \qquad \text{terreni granulari}$$

$$w_i = \beta * \Delta H_i / * C * [\ln(\Delta p_i + \sigma_{v,i})/\sigma_{v,i}] \qquad \text{terreni coesivi}$$

$\Delta p_i$ = variazione tensionale indotta dall'area di carico,
$\Delta H_i$ = spessore strato iesimo,
$E_i$ = modulo elastico dello strato iesimo,
$\beta$ = coefficiente correttivo di SKEMPTON&BIERRUM,
C = coefficiente di compressione/ricompressione edometrica,
$\sigma_{v,i}$ = pressione verticale efficace in posto.

- Il calcolo viene arrestato alla profondità in cui la $\Delta p_i \leq 0{,}2$ della pressione verticale efficace.
- Il rigonfiamento del terreno dovuto allo scavo viene considerato integralmente sviluppato al momento della posa della fondazione.

*3.2.3 - Risultati dei calcoli*

I risultati dei calcoli di resistenza e di cedimento sono riportati nell'Appendice A.

Nelle tabelle 3.1 e 3.2 e nella scheda 3.1 sono riassunti i risultati dei calcoli.

**TABELLA 3.1 – RIASSUNTO CALCOLI DI RESISTENZA**

| B*L [m] | $R_c$ [kPa] | $R_{DA2}$ [kPa] |
|---|---|---|
| 65*90 | 3474,7 | 1510,7 |

B*L = lati fondazioni della platea,

$R_c$ = resistenza limite di calcolo per collasso del complesso fondazione-terreno,

$R_{DA2}$ = resistenza del terreno secondo l'Approccio 2 (A1+M1+R3).

## TABELLA 3.2 – RIASSUNTO CALCOLI DI CEDIMENTO

| CARATTERISTICHE AREA DI CARICO | | |
|---|---|---|
| Dimensioni | Lato minore [m]: B = | 65,0 |
| | Lato maggiore [m]: L = | 90,0 |
| Pressione area di carico | Uniforme rettangolare [kPa]: | 100,0 |
| **CEDIMENTI** | | |
| cedim. area infinit. flessibil | Cedimento spigolo [cm]: ws = | 0,58 |
| | Cedimento mezzeria B [cm]: wB | 2,18 |
| | Cedimento mezzeria L [cm]: wL | 2,23 |
| | Cedimento centro [cm]: wC = | 4,54 |
| cedim. area inflnit. rigida | Cedimento medio [cm]: wR = | 3,06 |

## SCHEDA 3.1 – MATRICE CEDIMENTI

Y ↑

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,6 | 1,1 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,5 | 1,1 | 0,6 |
| 1,1 | 1,6 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 2,8 | 2,7 | 2,4 | 2,1 | 1,6 | 1,1 |
| 1,5 | 2,1 | 2,6 | 3,0 | 3,3 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,3 | 3,0 | 2,6 | 2,1 | 1,5 |
| 1,8 | 2,4 | 3,0 | 3,4 | 3,7 | 3,8 | 4,0 | 3,8 | 3,7 | 3,4 | 3,0 | 2,4 | 1,8 |
| 2,0 | 2,7 | 3,3 | 3,7 | 4,0 | 4,2 | 4,3 | 4,2 | 4,0 | 3,7 | 3,3 | 2,7 | 2,0 |
| 2,1 | 2,8 | 3,4 | 3,8 | 4,2 | 4,3 | 4,5 | 4,3 | 4,2 | 3,8 | 3,4 | 2,8 | 2,1 |
| 2,2 | 2,9 | 3,5 | 4,0 | 4,3 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,3 | 4,0 | 3,5 | 2,9 | 2,2 |
| 2,1 | 2,8 | 3,4 | 3,8 | 4,2 | 4,3 | 4,5 | 4,3 | 4,2 | 3,8 | 3,4 | 2,8 | 2,1 |
| 2,0 | 2,7 | 3,3 | 3,7 | 4,0 | 4,2 | 4,3 | 4,2 | 4,0 | 3,7 | 3,3 | 2,7 | 2,0 |
| 1,8 | 2,4 | 3,0 | 3,4 | 3,7 | 3,8 | 4,0 | 3,8 | 3,7 | 3,4 | 3,0 | 2,4 | 1,8 |
| 1,5 | 2,1 | 2,6 | 3,0 | 3,3 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,3 | 3,0 | 2,6 | 2,1 | 1,5 |
| 1,1 | 1,6 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 2,8 | 2,7 | 2,4 | 2,1 | 1,6 | 1,1 |
| 0,6 | 1,1 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 1,8 | 1,5 | 1,1 | 0,6 |

B

L → X

# *Capitolo 4* ***SUGGERIMENTI PROGETTUALE ED ESECUTIVI***

## *4.1 – Suggerimenti progettuali*

- Nella modellazione strutturale laddove il codice di calcolo simulasse il terreno come un continuo, i valori del modulo di elasticità di Young o del modulo edometrico del terreno potranno essere pari a quelli riportati nella tabella 1.2. La deformata della platea risultante dai calcoli così condotti porterà a cedimenti del medesimo ordine di grandezza di quelli riportati nel precedente capitolo. La rigidezza della fondazione e della struttura in elevazione avranno peraltro l'effetto di diminuire la distorsione angolare riducendo il cedimento massimo al centro ed aumentandolo in periferia.

- Nelle verifiche agli SLU per il dimensionamento geotecnico delle fondazioni (GEO) e quindi laddove si considera lo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dal raggiungimento della resistenza del terreno interagente con le fondazioni, si potrà considerare l'APPROCCIO 2 (combinazione (A1+M1+R3) – $R_{DA2}$ di tabella 3.1).

- La PRESSIONE DI CONTATTO FONDAZIONE-TERRENO $q_t$ potrà essere calcolata nel rispetto della seguente espressione (MEYERHOF - 1953):

$$q_t = N/(B'_1 * B'_2) \quad [4.1]$$

dove:

$B'_1$ = $B_1 - 2 * e_1$,
$B'_2$ = $B_2 - 2 * e_2$,
$e_1, e_2$ = $M_1/N, M_2/N$,
N = risultante forze verticali in fondazione,
$M_1, M_2$ = coppie in fondazione.

- I cedimenti dei terreni grossolani sono da intendere per buona parte come cedimenti "istantanei". Nelle analisi sono stati considerati i cedimenti differiti nel tempo dovuti a fenomeni di *creep*. Questi, secondo BURLAND & BARBIDGE (1985) a partire dal termine della costruzione a 50 anni, ammonterebbero a circa il 30% del cedimento totale calcolato. La porzione di cedimento dovuta all'intercalazione fine, che per la natura dei terreni è differita nel tempo, si prevede sviluppantesi in tempi brevi essendo tale strato immerso nella

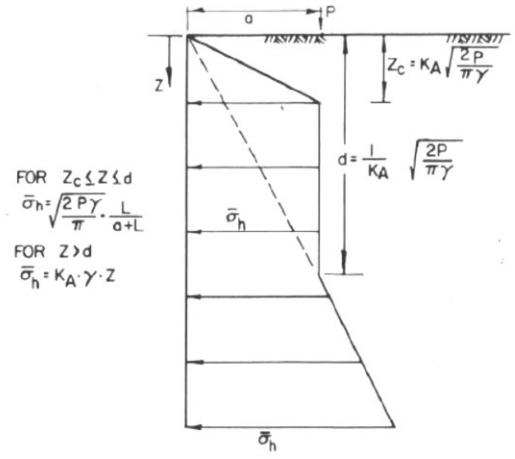
compagine grossolana, tempi che saranno compatibili con la durata del cantiere.

- Come prescritto nelle NTC occorrerà verificare che le deformazioni derivanti dai cedimenti delle fondazioni siano ammissibili con la funzionalità dell'opera in progetto (verifiche SLE). A tale scopo si potrà fare riferimento ai risultati dell'analisi interattiva struttura-terreno condotta adottando i parametri di deformabilità indicati nella tabella 3.2.

- I materiali di rinterro contro le pareti verticali interrate avranno analoga granulometria e le stesse modalità di compattazione indicate nel paragrafo seguente 4.2.1.
  In corrispondenza del volume inferiore non agibile al rullo vibrante, lo spessore dello strato di stesura sarà pari a 0,2 m e sarà compattato con piastra vibrante.

**PRESSIONE ORIZZONTALE SU PARETI VERTICALI DOVUTA AL TERRENO COMPATTATO**

La compattazione prevista comporta nella parte sommitale del riporto lo sviluppo di una spinta superiore a quella attiva, funzione del peso del rullo e della sua distanza dal muro, secondo il diagramma schematico riportato nella figura a lato.
I parametri per il calcolo della spinta potranno essere i seguenti:
- peso di volume del terreno compattato: $\gamma$ = 20 kN/m3;
- angolo di attrito del riporto: $\varphi$ = 38°;
- coefficiente di spinta attiva: ka = 0,24.




P (ROLLER LOAD) = $\frac{\text{DEAD WT. OF ROLLER} + \text{CENTRIFUGAL FORCE}}{\text{WIDTH OF ROLLER}}$

a : DISTANCE OF ROLLER FROM WALL

L: LENGTH OF ROLLER

## *4.2 – Indicazioni esecutive*

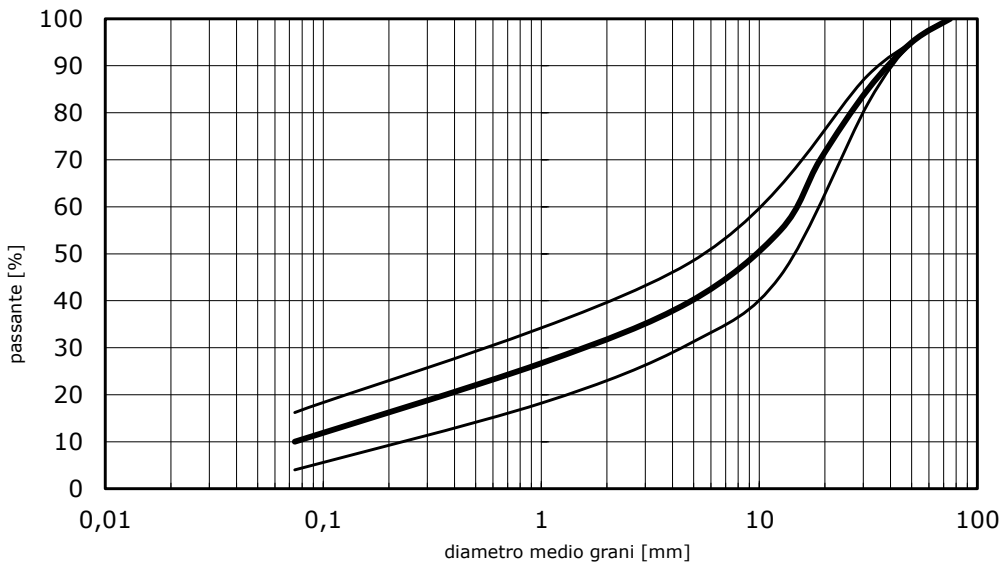
### *4.2.1 – Preparazione sedime fondazione*

La fondazione esaminata è stata considerata impostata su bonifica parziale dei terreni dello strato A di spessore $\Delta H_B$ pari a 0,5 m. Non si escludono spessori di bonifica differenti che potranno essere definiti in corso d'opera; quello prescritto è da considerarsi come spessore minimo di previsione.

Per le operazioni di campagna si consiglia di procedere secondo le fasi di seguito riportate.

- Scavo parziale fino a raggiungere la quota d'imposta della bonifica corrispondente ad una quota pari a -2,6 m per fondazione impostata alla ipotetica quota $Q'_f$ = -2,1 m.
- Visione critica dei terreni presenti alla $Q'_f$ ed eventuale approfondimento qualora alla $Q'_f$ fossero presenti materiali di origine organica, terreno umificato o altri materiali giudicati non idonei.
- Vibrocompattazione del fondo scavo con rullo vibrante di peso ottimale dell'ordine dei 100 kN, procedente ad una velocità non superiore a 1,5 km/h. Si eseguiranno almeno n° 5÷7 passate in A/R.
- Stesura di inerte in strati di spessore non maggiore di 0,3 m, comunque commisurato al rullo utilizzato. L'inerte sarà compreso nel fuso granulometrico di figura 4.1 e sarà compattato in maniera da raggiungere il 95% dell'OTTIMO di PROCTOR MODIFICATO (Standard A.S.T.M. - D1557 - 78; C.N.R. 8) ovvero un modulo $M_d$ di deformazione da prove su piastra (Standard S.N.V. 70317) maggiore di 60 MPa nell'intervallo 50÷150 kPa.

**FIGURA 4.1 – FUSO GRANULOMETRICO INERTE PER RIPORTO STRUTTURALE**



*4.2.2 – Sbancamenti e scavi*

La sensibile sovraconsolidazione dei terreni superficiali e l'assenza dell'acqua di falda non porranno particolari problematiche alla movimentazione dei mezzi d'opera ed alla realizzazione degli scavi.

Questi potranno avere le pareti con andamento non superiore a 45° fino ad altezze massime di 3 m. Per scavi di altezza maggiore occorrerà valutarne la condizione di stabilità in relazione all'estensione delle pareti ed all'altezza.

Le pareti dello scavo dovranno essere protette da telo impermeabile da stendere nei periodi di intensa piovosità al fine di inibire la corrivazione dell'acqua e la conseguente erosione superficiale.

# ***APPENDICE A***

# ANALISI FONDAZIONI DIRETTE
## MODALITA' DI CALCOLO DELLA RESISTENZA
### CONDIZIONE STATICA

La resistenza di calcolo $R_c$ del complesso fondazione-terreno viene calcolata utilizzando l'espressione BRINCH-HANSEN (1970):

$$R_c = c*N_c*s_c*d_c*i_c*b_c*g_c + q'*N_q*s_q*d_q*i_q*b_q*g_q + 0{,}5*\gamma'_i*B'*N_\gamma*s_\gamma*i_\gamma*b_\gamma*g_\gamma*r_\gamma \qquad [1]$$

dove:

$N_c$, $N_q$, $N_\gamma$ = fattori di capacità portante funzione dell'angolo di resistenza al taglio;

$N_c = (N_q-1)/\tan\varphi'$,

$N_q = \tan^2(45°+\varphi'/2)*e^{\pi*\tan\varphi'}$,

$N_\gamma = 2*(N_q+1)*\tan\varphi'$,

$\varphi'$ = angolo di resistenza al taglio efficace,

c = coesione,

s = fattori di forma della fondazione,

i = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico,

b = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione $\alpha_{pf}$ ella base della fondazione,

g = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione $\alpha_{pc}$ del piano campagna,

d = fattori dipendenti dalla profondità del piano di posa,

$r_\gamma = 1-0{,}25*\log(B/2)$ = fattore di riduzione della $R_c$ in funzione di B,

$\gamma'_i$ = peso di volume efficace del terreno al disotto della fondazione,

$B' = B -2*e$,

B = lato minore della fondazione,

e = eccentricità del carico,

$q' = \gamma'_s*D_f$ = sovraccarico a lato della fondazione,

$D_f$ = immorsamento della fondazione,

$\gamma'_s$ = peso di volume efficace del terreno al disopra della fondazione.

Per tenere in conto la dipendenza dell'angolo dì resistenza al taglio dal livello tensionale il programma, su richiesta, considera quanto proposto da BOLTON (1986) secondo cui il valore dell'angolo d'attrito massimo (valore massimo $\varphi'_p$ di picco) ed il valore ultimo ($\varphi'_{cv}$, valore minimo a volume costante) sono legati dall'espressione:

$$\varphi'_p - \varphi'_{cv} = m*[D_r*(10-\ln p'_f)-1]$$

dove:

$D_r$ = densità relativa,

$p'_f$ = pressione media efficace a rottura = $(p_{lim}+3*q')*(1-\text{sen}\varphi')/4$ (DE BEER - 1964).

Il calcolo della $p_{lim}$ viene condotto iterativamente utilizzando il valore di $\varphi'_{cv}$ fino a convergenza ($\varphi'_3$).

Nell'analisi agli S.L.E., la pressione di contatto fondazione-terreno $p_{t_calc}$, utilizzata per il calcolo del cedimento della fondazione, viene valutata introducendo il coefficiente $F_s$:

$$p_{t_calc} = R_c/F_s$$

Nel calcolo agli stati limiti ultimi (S.L.U.), la verifica per collasso dovuto al raggiungimento del carico limite dell'insieme fondazione-terreno deve soddisfare la condizione:

$$E_d <= R_d$$

dove $E_d$ e $R_d$ sono rispettivamente i valori di progetto dell'azione e della resistenza.

La $R_d$ viene calcolata secondo il D.M. del 17/01/18:

Approccio 2: $R_d = 1/\gamma_{R3} * R_{c1}(\varphi, c)$

Per $R_{c1}(\varphi, c)$ si è indicata la resistenza di calcolo più sopra trattata.

Sopra si è indicato con:

$\gamma_{R3}$ = coefficiente parziale pari a 2,3 (tabella 6.4.I - D.M. 17/01/18),

**DATI DI INPUT**

**Geotecnica**

| Strato n° | φ [gradi] | c [kPa] | $D_r$ [%] | $\gamma_i$ [kN/m$^3$] | $N_{SPT}$ [/] | m [/] | $Q_l$ [m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 25,0 | 0,0 | 40,0 | 19,0 | 0 | 400,0 | 5,0 |
| 2 | 27,0 | 0,0 | 45,0 | 19,0 | 0 | 450,0 | 15,0 |
| 3 | 26,0 | 0,0 | 30,0 | 19,0 | 0 | 200,0 | 18,0 |
| 4 | 30,0 | 0,0 | 60,0 | 19,0 | 0 | 800,0 | 200,0 |

| | | |
|---|---|---|
| $\gamma_s$ | 16,0 | |
| n | 0,50 | |
| ν | 0,35 | |
| $Q_w$ | 2,5 | Quota livello acqua sotterranea [m] |

**Geometrie** FONDAZIONI ISOLATE

| Calcolo n° | B [m] | L [m] | $Q_{pc}$ [m] | $Q_{pci}$ [m] | $Q_f$ [m] | $\alpha_{pf}$ [gradi] | $\alpha_{pc}$ [gradi] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 65,00 | 90,00 | 0,0 | 0,0 | 2,1 | 0,0 | 0,0 |
| 2 | 65,00 | 90,00 | 0,0 | 0,0 | 2,1 | 0,0 | 0,0 |
| 3 | 65,00 | 90,00 | 0,0 | 0,0 | 2,1 | 0,0 | 0,0 |
| 4 | 65,00 | 90,00 | 0,0 | 0,0 | 2,1 | 0,0 | 0,0 |
| 5 | 65,00 | 90,00 | 0,0 | 0,0 | 2,1 | 0,0 | 0,0 |

**Carichi**

| Calcolo n° | N [kN] | M [kNm] | T [kN] |
|---|---|---|---|
| 1 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| 3 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| 5 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |

**Generali**

| | |
|---|---|
| Spess. strato deformabile [m]: | 50,0 |
| Tipo di carico: | statico |
| Tempo [anni] | 50,0 |
| Cedimento ammiss. $w_{amm}$ [cm] | 2,5 |
| Terreno: | G/S-G |
| Coefficiente $F_s$: | 3,0 |
| α (cfr. sotto): | 1,5 |
| $E_{OCR}/E_{NC}$ (E = modulo di Young) | 2,0 |

NB. Il singolo parametro geotecnico P introdotto nei calcoli (φ, m, $N_{SPT}$, $D_r$) rappresenta il valore medio ponderale dei parametri dei singoli strati, entro lo spessore α*B di terreno significativamente interessato dalla fondazione, calcolato utilizzando l'espressione generica:

$$P = (\Sigma i\ P_i * \Delta H_i)/(\alpha * B)$$

$P_i$ = generico parametro relativo allo strato iesimo,

$\Delta H_i$ = spessore terreno con associato il parametro $P_i$.

## RISULTATI DEI CALCOLI DI PORTATA IN CONDIZIONI STATICHE

**Parametri**

| B [m] | $\varphi_1$ [gradi] | $\varphi_2$ [gradi] | $\varphi_3$ [gradi] | c [kPa] | $\gamma_i$ [kN/m$^3$] |
|---|---|---|---|---|---|
| 65,00 | 29,4 | 29,4 | **29,4** | 0,0 | 10,0 |
| 65,00 | 29,4 | 29,4 | **29,4** | 0,0 | 10,0 |
| 65,00 | 29,4 | 29,4 | **29,4** | 0,0 | 10,0 |
| 65,00 | 29,4 | 29,4 | **29,4** | 0,0 | 10,0 |
| 65,00 | 29,4 | 29,4 | **29,4** | 0,0 | 10,0 |

Il calcolo è eseguito senza decurtazione di Fi secondo BOLTON

**Coefficienti**

| Calcolo n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $N_c$ | 28,79 | 28,79 | 28,79 | 28,79 | 28,79 | |
| $s_c$ | 1,43 | 1,43 | 1,43 | 1,43 | 1,43 | $s_c=1+N_q/N_c*B'/L$ (ISOL.); sc=1 (NASTR.) |
| $d_c$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | $d_c=d_q-(1-d_q)/(N_c*\tan\varphi)$ |
| $i_c$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | $ic = iq - (1-iq)/(Nq-1)$ |
| $b_c$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | $b_c=b_q-(1-b_q)/(N_c*\tan\varphi)$ |
| $g_c$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | $g_c=g_q-(1-g_q)/(N_c*\tan\alpha_{pc})$ |
| $\gamma_i'$ | 10,04 | 10,04 | 10,04 | 10,04 | 10,04 | |
| $N_\gamma$ | 20,57 | 20,57 | 20,57 | 20,57 | 20,57 | |
| $s_\gamma$ | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 0,71 | 0,71 | $s_\gamma=1-0,4*B/L$ |
| $i_\gamma$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | $i_\gamma = [1-(T/(N+B'*L*c/\tan\varphi)]^{(m+1)}$ |
| $b_\gamma$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | $b_\gamma=(1-\alpha_{pf}*\tan\varphi)^2$ |
| $g_\gamma$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | $g_\gamma=(1-\tan\alpha_{pc})^2$ |
| q' | 33,60 | 33,60 | 33,60 | 33,60 | 33,60 | |
| $N_q$ | 17,24 | 17,24 | 17,24 | 17,24 | 17,24 | |
| $s_q$ | 1,41 | 1,41 | 1,41 | 1,41 | 1,41 | $s_q=1+B/L*\tan\varphi$ |
| $d_q$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | $d_q=1+2*\tan\varphi*(1-\mathrm{sen}\varphi)^2*\tan^{-1}(D/B)$ per (+) D/B>=1 |
| $i_q$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | $i_q=[1-T/(N+B'*L*c/\tan\varphi)]^m$ m=(2+B'*L)/(1+B'/L) |
| $b_q$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | $b_q=(1-\alpha_{pf}*\tan\varphi)^2$ |
| $g_q$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | $g_q=(1-\tan\alpha_{pc})^2$ |
| $r_\gamma$ | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | |

(+) $d_q=1+2*D/B*\tan\varphi*(1-\mathrm{sen}\varphi)^2$ (D/B<1)

**Risultati**

| S.L.U. - APPROCCIO 2 | | |
|---|---|---|
| B [m] | **$R_c$ [kPa]** | **$R_D$ [kPa]** |
| 65,0 | **3474,7** | **1510,7** |
| 65,0 | **3474,7** | **1510,7** |
| 65,0 | **3474,7** | **1510,7** |
| 65,0 | **3474,7** | **1510,7** |
| 65,0 | **3474,7** | **1510,7** |

# CALCOLO CEDIMENTI AREA DI CARICO

## DATI d'INGRESSO

| CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO | | |
|---|---|---|
| coefficiente di Skempton | A = | 0,40 |
| coefficiente pressione a riposo: | $k_0$ = | 0,40 |
| coefficiente correttivo $\beta$=A+$\alpha$*(1-A) (Skempton, Bjerrun | $\beta$ = | 0,70 |
| coefficiente di Poisson | $\nu$ = | 0,35 |
| $\alpha = \int\sigma_{hci} / \int\sigma_{hci}$ | $\alpha$ = | 0,50 |
| peso di volume del terreno sotto la fondazione [kN/m$^3$]: | $\gamma_i$ = | 19,00 |
| peso di volume del terreno sopra la fondazione [kN/m$^3$]: | $\gamma_s$ = | 19,00 |
| peso di volume acqua [kN/m$^3$]: | $\gamma_w$ = | 10,00 |
| quota livello acqua sotterranea [m]: | $Q_w$ = | 2,50 |

| Litologia terreni | | | |
|---|---|---|---|
| quota sup. [m] | quota inf. [m] | granulometria | $E_{UL-RL}/E_{cv}$ |
| 0,0 | 5,0 | sabbia grossa/ghiaia | 2 |
| 5,0 | 15,0 | sabbia grossa/ghiaia | 2 |
| 15,00 | 18,00 | limo/argilla | / |
| 18,00 | 500,00 | sabbia grossa/ghiaia | 2 |
| | | | / |
| | | | / |
| | | | / |
| | | | / |
| | | | / |
| | | | / |

Caratteristiche di deformabilità terreni granulari

Il modulo elastico E relativo ai terreni granulari è assunto pari a $E = m^*(p_c/p_0)^n$ dove $p_c=\sigma_v \cdot k_0+\sigma_h$ ($\sigma_v$=pressione di contenimento, $\sigma_h$=incremento dovuto al sovraccarico), m è il gradiente di E.

Caratteristiche di deformabilità terreni fini

| quota sup. [m] | quota inf. [m] | OCR | $C_c$ | $C_r$ | $c_v$ [m$^2$/s] |
|---|---|---|---|---|---|
| 15,0 | 18,0 | 1,5 | 0,11 | 0,025 | 6,00E-08 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| CARATTERISTICHE DI GEOMETRIA GENERALE E OPZIONI | |
|---|---|
| lato minore area di carico [m]: | 65,0 |
| lato maggiore area di carico [m]: | 90,0 |
| pressione trasmessa al terreno [kPa]: | 100,0 |
| quota del piano di campagna [m]: | 0,0 |
| quota del piano di calpestio [m]: | 0,0 |
| quota del piano dell'area di carico [m]: | 2,10 |
| grado di consolidaz. pressione di rigonfiam. alla ricarica (terreni fini) [%]: | 0,0 |
| intervallo di suddivisione $\Delta$x [m]: | 1,0 |

## RISULTATI DEI CALCOLI

z = profondità media strato da z.r.,
$N_c$ = numero colpi corretto col fattore $C_N = (98.1./\sigma_v)^{.5}$
$D_r$ = densità relativa,
$\sigma_{vt}$ = pressione geostatica verticale,
$\sigma_{ht}$ = pressione geostatica orizzontale (a riposo),
$\sigma_{vc}$ = incremento pressione verticale dovuto al sovraccarico,
$\sigma_{hc}$ = incremento pressione orizzontale dovuto al sovraccarico,
m = gradiente del modulo elastico E
$E_{cv}$ = modulo elastico verticale (curva vergine),
$E_{UL-RL}$ = modulo elastico verticale di ricarico/scarico,

$C'_c$, $C'_r$ = rapporti di compressibilità/ricompressione edometrica,
$\sigma_0$ = pressione di sovraconsolidazione,
$\sigma_1$ = $\sigma_{vc} - \sigma_2$,
$\sigma_2$ = pressione terreno sbancato,
$w_{rigonf}$ = rigonfiamento,
w = cedimento risultante.

**Formule generali calcolo cedimento $w_i$ dello strato iesimo**

$w_i = \sigma_{vc}/E^*\Delta H_i$ terreni granulari
$w_i = \beta^*C'_{c-r}^*[\log(\sigma_{vc} + \sigma_{vt})/\sigma_{vt}]^*\Delta H_i$ terreni fini

**Formula generale per il calcolo del tempo $t_i$ di consolidazione**

$t_i = T_i * \Delta H^2/c_v$ $T_i$ = fattore di tempo
$\Delta H$ = percorso di drenaggio

SULLO SPIGOLO

| z [m] | $N_c$ [colpi] | $D_r$ [%] | $\sigma_{vt}$ [kPa] | $\sigma_{ht}$ [kPa] | $\sigma_{vc}$ [kPa] | $\sigma_{hc}$ [kPa] | m [/] | $E_{cv}$ [kPa] | $E_{UL-RL}$ [kPa] | $C'_c$ [/] | $C'_r$ [/] | $\sigma_0$ [kPa] | $\sigma_1$ [kPa] | $\sigma_2$ [kPa] | $w_{rigonf}$ [cm] | **w [cm]** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,60 | / | / | 48,4 | 19,4 | 25,0 | 24,8 | 400,0 | 26573,2 | 43262,6 | / | / | / | 15,0 | 10,0 | 0,03 | **0,08** |
| 3,60 | / | / | 57,4 | 23,0 | 25,0 | 24,3 | 400,0 | 27504,4 | 45721,9 | / | / | / | 15,0 | | | **0,08** |
| 4,60 | / | / | 66,4 | 26,6 | 25,0 | 23,9 | 400,0 | 28405,2 | 48055,6 | / | / | / | 15,0 | | | **0,07** |
| 5,60 | / | / | 75,4 | 30,2 | 25,0 | 23,4 | 450,0 | 32938,3 | 56566,5 | / | / | / | 15,0 | | | **0,06** |
| 6,60 | / | / | 84,4 | 33,8 | 25,0 | 23,0 | 450,0 | 33892,7 | 58964,6 | / | / | / | 15,0 | | | **0,06** |
| 7,60 | / | / | 93,4 | 37,4 | 25,0 | 22,5 | 450,0 | 34821,4 | 61269,3 | / | / | / | 15,0 | | | **0,06** |
| 8,60 | / | / | 102,4 | 41,0 | 25,0 | 22,1 | 450,0 | 35726,6 | 63490,9 | / | / | / | 15,0 | | | **0,06** |
| 9,60 | / | / | 111,4 | 44,6 | 25,0 | 21,6 | 450,0 | 36610,0 | 65637,9 | / | / | / | 15,0 | | | **0,06** |
| 10,60 | / | / | 120,4 | 48,2 | 25,0 | 21,2 | 450,0 | 37473,3 | 67717,4 | / | / | / | 15,0 | | | **0,05** |

Calcolo arrestato per $\sigma_{vc}$ · 0,2 $\sigma_{vt}$

| IN MEZZERIA DEL LATO MINORE | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| z | $N_c$ | $D_r$ | $\sigma_{vt}$ | $\sigma_{ht}$ | $\sigma_{vc}$ | $\sigma_{hc}$ | m | $E_{cv}$ | $E_{UL-RL}$ | $C'_c$ | $C'_r$ | $\sigma_0$ | $\sigma_1$ | $\sigma_2$ | $w_{rigonf}$ | **w** |
| [m] | [colpi] | [%] | [kPa] | [kPa] | [kPa] | [kPa] | [/] | [kPa] | [kPa] | [/] | [/] | [kPa] | [kPa] | [kPa] | [cm] | **[cm]** |
| 2,60 | / | / | 48,4 | 19,4 | 50,0 | 49,2 | 400,0 | 33125,0 | 49959,0 | / | / | / | 30,0 | 19,9 | 0,06 | **0,13** |
| 3,60 | / | / | 57,4 | 23,0 | 50,0 | 47,7 | 400,0 | 33614,2 | 51831,2 | / | / | / | 30,0 | 19,9 | 0,05 | **0,13** |
| 4,60 | / | / | 66,4 | 26,6 | 50,0 | 46,1 | 400,0 | 34098,0 | 53639,9 | / | / | / | 30,0 | 19,9 | 0,05 | **0,13** |
| 5,60 | / | / | 75,4 | 30,2 | 50,0 | 44,6 | 450,0 | 38900,0 | 62316,2 | / | / | / | 30,0 | 19,9 | 0,04 | **0,11** |
| 6,60 | / | / | 84,4 | 33,8 | 49,9 | 43,0 | 450,0 | 39436,5 | 64231,0 | / | / | / | 30,0 | 19,9 | 0,04 | **0,11** |
| 7,60 | / | / | 93,4 | 37,4 | 49,9 | 41,5 | 450,0 | 39970,8 | 66095,3 | / | / | / | 30,0 | 19,9 | 0,04 | **0,11** |
| 8,60 | / | / | 102,4 | 41,0 | 49,8 | 40,1 | 450,0 | 40504,1 | 67914,2 | / | / | / | 30,0 | | | **0,10** |
| 9,60 | / | / | 111,4 | 44,6 | 49,8 | 38,6 | 450,0 | 41037,2 | 69692,0 | / | / | / | 29,9 | | | **0,10** |
| 10,60 | / | / | 120,4 | 48,2 | 49,6 | 37,2 | 450,0 | 41571,0 | 71432,5 | / | / | / | 29,8 | | | **0,10** |
| 11,60 | / | / | 129,4 | 51,8 | 49,5 | 35,8 | 450,0 | 42106,0 | 73138,9 | / | / | / | 29,8 | | | **0,10** |
| 12,60 | / | / | 138,4 | 55,4 | 49,4 | 34,4 | 450,0 | 42642,8 | 74814,2 | / | / | / | 29,7 | | | **0,10** |
| 13,60 | / | / | 147,4 | 59,0 | 49,2 | 33,1 | 450,0 | 43181,8 | 76460,7 | / | / | / | 29,5 | | | **0,09** |
| 14,60 | / | / | 156,4 | 62,6 | 49,0 | 31,8 | 450,0 | 43723,2 | 78080,6 | / | / | / | 29,4 | | | **0,09** |
| 15,60 | / | / | 165,4 | 66,2 | 48,7 | 30,6 | / | / | / | 0,11 | 0,03 | 248,1 | 29,3 | | | **0,20** |
| 16,60 | / | / | 174,4 | 69,8 | 48,5 | 29,4 | / | / | / | 0,11 | 0,03 | 261,6 | 29,1 | | | **0,19** |
| 17,60 | / | / | 183,4 | 73,4 | 48,2 | 28,3 | / | / | / | 0,11 | 0,03 | 275,1 | 28,9 | | | **0,18** |
| 18,60 | / | / | 192,4 | 77,0 | 47,8 | 27,1 | 800,0 | 81627,3 | 149916,5 | / | / | / | 28,8 | | | **0,05** |
| 19,60 | / | / | 201,4 | 80,6 | 47,5 | 26,1 | 800,0 | 82613,2 | 152601,6 | / | / | / | 28,6 | | | **0,05** |
| 20,60 | / | / | 210,4 | 84,2 | 47,1 | 25,1 | 800,0 | 83603,3 | 155253,9 | / | / | / | 28,3 | | | **0,05** |
| 21,60 | / | / | 219,4 | 87,8 | 46,8 | 24,1 | 800,0 | 84597,1 | 157874,8 | / | / | / | 28,1 | | | **0,05** |
| 22,60 | / | / | 228,4 | 91,4 | 46,4 | 23,1 | 800,0 | 85594,3 | 160465,6 | / | / | / | 27,9 | | | **0,04** |

Calcolo arrestato per $\sigma_{vc}$ ' 0,2 $\sigma_{vt}$

| IN MEZZERIA DEL LATO MAGGIORE | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| z | $N_c$ | $D_r$ | $\sigma_{vt}$ | $\sigma_{ht}$ | $\sigma_{vc}$ | $\sigma_{hc}$ | m | $E_{cv}$ | $E_{UL-RL}$ | $C'_c$ | $C'_r$ | $\sigma_0$ | $\sigma_1$ | $\sigma_2$ | $w_{rigonf}$ | **w** |
| [m] | [colpi] | [%] | [kPa] | [kPa] | [kPa] | [kPa] | [/] | [kPa] | [kPa] | [/] | [/] | [kPa] | [kPa] | [kPa] | [cm] | **[cm]** |
| 2,60 | / | / | 48,4 | 19,4 | 50,0 | 49,4 | 400,0 | 33157,8 | 49993,6 | / | / | / | 30,0 | 19,9 | 0,06 | **0,13** |
| 3,60 | / | / | 57,4 | 23,0 | 50,0 | 48,1 | 400,0 | 33710,6 | 51931,1 | / | / | / | 30,0 | 19,9 | 0,05 | **0,13** |
| 4,60 | / | / | 66,4 | 26,6 | 50,0 | 46,8 | 400,0 | 34255,3 | 53799,6 | / | / | / | 30,0 | 19,9 | 0,05 | **0,12** |
| 5,60 | / | / | 75,4 | 30,2 | 50,0 | 45,5 | 450,0 | 39141,8 | 62557,3 | / | / | / | 30,0 | 19,9 | 0,04 | **0,11** |
| 6,60 | / | / | 84,4 | 33,8 | 50,0 | 44,2 | 450,0 | 39739,0 | 64527,9 | / | / | / | 30,0 | 19,9 | 0,04 | **0,11** |
| 7,60 | / | / | 93,4 | 37,4 | 50,0 | 43,0 | 450,0 | 40329,7 | 66442,4 | / | / | / | 30,0 | 19,9 | 0,04 | **0,10** |
| 8,60 | / | / | 102,4 | 41,0 | 49,9 | 41,7 | 450,0 | 40914,6 | 68305,8 | / | / | / | 30,0 | | | **0,10** |
| 9,60 | / | / | 111,4 | 44,6 | 49,9 | 40,5 | 450,0 | 41494,4 | 70122,7 | / | / | / | 30,0 | | | **0,10** |
| 10,60 | / | / | 120,4 | 48,2 | 49,8 | 39,2 | 450,0 | 42069,8 | 71897,1 | / | / | / | 30,0 | | | **0,10** |
| 11,60 | / | / | 129,4 | 51,8 | 49,8 | 38,0 | 450,0 | 42641,3 | 73632,2 | / | / | / | 29,9 | | | **0,10** |
| 12,60 | / | / | 138,4 | 55,4 | 49,7 | 36,8 | 450,0 | 43209,5 | 75331,3 | / | / | / | 29,9 | | | **0,10** |
| 13,60 | / | / | 147,4 | 59,0 | 49,6 | 35,7 | 450,0 | 43774,7 | 76996,9 | / | / | / | 29,8 | | | **0,09** |
| 14,60 | / | / | 156,4 | 62,6 | 49,5 | 34,5 | 450,0 | 44337,4 | 78631,5 | / | / | / | 29,7 | | | **0,09** |
| 15,60 | / | / | 165,4 | 66,2 | 49,4 | 33,4 | / | / | / | 0,11 | 0,03 | 248,1 | 29,7 | | | **0,20** |
| 16,60 | / | / | 174,4 | 69,8 | 49,2 | 32,3 | / | / | / | 0,11 | 0,03 | 261,6 | 29,6 | | | **0,19** |
| 17,60 | / | / | 183,4 | 73,4 | 49,1 | 31,2 | / | / | / | 0,11 | 0,03 | 275,1 | 29,5 | | | **0,18** |
| 18,60 | / | / | 192,4 | 77,0 | 48,9 | 30,1 | 800,0 | 82790,5 | 150931,0 | / | / | / | 29,4 | | | **0,05** |
| 19,60 | / | / | 201,4 | 80,6 | 48,7 | 29,1 | 800,0 | 83776,5 | 153610,4 | / | / | / | 29,3 | | | **0,05** |
| 20,60 | / | / | 210,4 | 84,2 | 48,5 | 28,1 | 800,0 | 84760,7 | 156252,3 | / | / | / | 29,2 | | | **0,05** |
| 21,60 | / | / | 219,4 | 87,8 | 48,3 | 27,1 | 800,0 | 85743,3 | 158858,6 | / | / | / | 29,0 | | | **0,05** |
| 22,60 | / | / | 228,4 | 91,4 | 48,0 | 26,2 | 800,0 | 86724,4 | 161431,1 | / | / | / | 28,9 | | | **0,05** |
| 23,60 | / | / | 237,4 | 95,0 | 47,8 | 25,2 | 800,0 | 87704,3 | 163971,6 | / | / | / | 28,7 | | | **0,04** |

Calcolo arrestato per $\sigma_v$ 0,2 $\sigma_{vt}$

| AL CENTRO | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| z [m] | $N_c$ [colpi] | $D_r$ [%] | $\sigma_{vt}$ [kPa] | $\sigma_{ht}$ [kPa] | $\sigma_{vc}$ [kPa] | $\sigma_{hc}$ [kPa] | m [/] | $E_{cv}$ [kPa] | $E_{UL-RL}$ [kPa] | Cc [/] | $C_r$ [/] | $\sigma_0$ [kPa] | $\sigma_1$ [kPa] | $\sigma_2$ [kPa] | $w_{rigonf}$ [cm] | **w [cm]** |
| 2,60 | / | / | 48,4 | 19,4 | 100,0 | 98,2 | 400,0 | 43367,8 | 61207,6 | / | / | / | 60,1 | 39,9 | 0,11 | **0,20** |
| 3,60 | / | / | 57,4 | 23,0 | 100,0 | 94,6 | 400,0 | 43364,5 | 62324,8 | / | / | / | 60,1 | 39,9 | 0,10 | **0,20** |
| 4,60 | / | / | 66,4 | 26,6 | 100,0 | 91,0 | 400,0 | 43364,3 | 63425,7 | / | / | / | 60,1 | 39,9 | 0,10 | **0,20** |
| 5,60 | / | / | 75,4 | 30,2 | 99,9 | 87,4 | 450,0 | 48790,5 | 72577,6 | / | / | / | 60,1 | 39,9 | 0,08 | **0,18** |
| 6,60 | / | / | 84,4 | 33,8 | 99,9 | 83,9 | 450,0 | 48804,3 | 73789,7 | / | / | / | 60,0 | 39,8 | 0,08 | **0,18** |
| 7,60 | / | / | 93,4 | 37,4 | 99,8 | 80,4 | 450,0 | 48828,3 | 74992,7 | / | / | / | 60,0 | 39,8 | 0,07 | **0,18** |
| 8,60 | / | / | 102,4 | 41,0 | 99,6 | 77,0 | 450,0 | 48864,4 | 76189,2 | / | / | / | 59,9 | 39,7 | 0,07 | **0,17** |
| 9,60 | / | / | 111,4 | 44,6 | 99,4 | 73,6 | 450,0 | 48914,6 | 77381,3 | / | / | / | 59,7 | 39,7 | 0,07 | **0,17** |
| 10,60 | / | / | 120,4 | 48,2 | 99,1 | 70,3 | 450,0 | 48980,2 | 78570,9 | / | / | / | 59,6 | 39,6 | 0,06 | **0,17** |
| 11,60 | / | / | 129,4 | 51,8 | 98,8 | 67,1 | 450,0 | 49062,8 | 79759,4 | / | / | / | 59,4 | 39,4 | 0,06 | **0,17** |
| 12,60 | / | / | 138,4 | 55,4 | 98,4 | 64,0 | 450,0 | 49163,4 | 80948,0 | / | / | / | 59,1 | 39,3 | 0,06 | **0,17** |
| 13,60 | / | / | 147,4 | 59,0 | 98,0 | 61,0 | 450,0 | 49283,1 | 82137,9 | / | / | / | 58,9 | 39,1 | 0,06 | **0,17** |
| 14,60 | / | / | 156,4 | 62,6 | 97,4 | 58,1 | 450,0 | 49422,3 | 83329,6 | / | / | / | 58,6 | 38,9 | 0,05 | **0,17** |
| 15,60 | / | / | 165,4 | 66,2 | 96,8 | 55,2 | / | / | / | 0,11 | 0,03 | 248,10 | 58,2 | | | **0,33** |
| 16,60 | / | / | 174,4 | 69,8 | 96,2 | 52,5 | / | / | / | 0,11 | 0,03 | 261,60 | 57,8 | | | **0,27** |
| 17,60 | / | / | 183,4 | 73,4 | 95,5 | 49,9 | / | / | / | 0,11 | 0,03 | 275,10 | 57,4 | | | **0,21** |
| 18,60 | / | / | 192,4 | 77,0 | 94,7 | 47,4 | 800,0 | 89213,2 | 156663,1 | / | / | / | 56,9 | | | **0,09** |
| 19,60 | / | / | 201,4 | 80,6 | 93,8 | 45,0 | 800,0 | 89641,1 | 158806,0 | / | / | / | 56,4 | | | **0,09** |
| 20,60 | / | / | 210,4 | 84,2 | 92,9 | 42,7 | 800,0 | 90103,8 | 160953,2 | / | / | / | 55,8 | | | **0,09** |
| 21,60 | / | / | 219,4 | 87,8 | 92,0 | 40,5 | 800,0 | 90600,4 | 163104,4 | / | / | / | 55,3 | | | **0,08** |
| 22,60 | / | / | 228,4 | 91,4 | 91,0 | 38,4 | 800,0 | 91129,7 | 165258,8 | / | / | / | 54,7 | | | **0,08** |
| 23,60 | / | / | 237,4 | 95,0 | 89,9 | 36,4 | 800,0 | 91690,4 | 167415,5 | / | / | / | 54,0 | | | **0,08** |
| 24,60 | / | / | 246,4 | 98,6 | 88,8 | 34,5 | 800,0 | 92281,1 | 169573,8 | / | / | / | 53,4 | | | **0,08** |
| 25,60 | / | / | 255,4 | 102,2 | 87,7 | 32,7 | 800,0 | 92900,3 | 171732,8 | / | / | / | 52,7 | | | **0,08** |
| 26,60 | / | / | 264,4 | 105,8 | 86,5 | 31,0 | 800,0 | 93546,3 | 173891,5 | / | / | / | 52,0 | | | **0,08** |
| 27,60 | / | / | 273,4 | 109,4 | 85,3 | 29,3 | 800,0 | 94217,5 | 176049,1 | / | / | / | 51,3 | | | **0,07** |
| 28,60 | / | / | 282,4 | 113,0 | 84,1 | 27,8 | 800,0 | 94912,4 | 178204,7 | / | / | / | 50,5 | | | **0,07** |
| 29,60 | / | / | 291,4 | 116,6 | 82,8 | 26,3 | 800,0 | 95629,3 | 180357,4 | / | / | / | 49,8 | | | **0,07** |
| 30,60 | / | / | 300,4 | 120,2 | 81,6 | 24,9 | 800,0 | 96366,5 | 182506,4 | / | / | / | 49,0 | | | **0,07** |
| 31,60 | / | / | 309,4 | 123,8 | 80,3 | 23,6 | 800,0 | 97122,5 | 184650,8 | / | / | / | 48,3 | | | **0,07** |
| 32,60 | / | / | 318,4 | 127,4 | 79,0 | 22,4 | 800,0 | 97895,7 | 186789,9 | / | / | / | 47,5 | | | **0,07** |
| 33,60 | / | / | 327,4 | 131,0 | 77,7 | 21,2 | 800,0 | 98684,7 | 188923,0 | / | / | / | 46,7 | | | **0,06** |
| 34,60 | / | / | 336,4 | 134,6 | 76,4 | 20,1 | 800,0 | 99488,1 | 191049,5 | / | / | / | 45,9 | | | **0,06** |
| 35,60 | / | / | 345,4 | 138,2 | 75,1 | 19,0 | 800,0 | 100304,5 | 193168,6 | / | / | / | 45,1 | | | **0,06** |
| 36,60 | / | / | 354,4 | 141,8 | 73,8 | 18,0 | 800,0 | 101132,6 | 195279,8 | / | / | / | 44,4 | | | **0,06** |

Calcolo arrestato per $\sigma_v$ 0,2 $\sigma_{vt}$

## SINTESI

**Cedimento dall'applicazione del carico a tempo infinito**

| | totali [cm] | terreni gross. [cm] | terreni fini [cm] |
|---|---|---|---|
| $w_s$ | 0,58 | 0,58 | 0,00 |
| $w_b$ | 2,18 | 1,62 | 0,56 |
| $w_l$ | 2,23 | 1,66 | 0,57 |
| $w_c$ | 4,54 | 3,73 | 0,81 |
| **$w_{medio}$** | **3,06** | **2,45** | **0,61** |

$w_{s\text{-}b\text{-}l}$ = cedimento dello spigolo, della mezzeria lato minore, maggiore,
$w_c$ = cedimento centro,
$w_{medio}$ = cedimento area di carico infinitamente rigida.

P.P.V.

Generale Prefabbricati S.p.A.
Progettista delle Strutture
Dott. Ing. Andrea Bagiana
Ordine degli Ingegneri di Perugia n. A4122

LOCALE ELETTROPOMPE ANTINCENDIO

VASCA DI ACCUMULO

DC 08.1

QUOTA DI PROGETTO
+133,55

QUOTA MEDIA ESTERNO EDIFICI +133,40

DC 08.2

10m dal fontanile

10m dal fontanile

133,40

133,61

133,40